EL TAO DE LA FÍSICA

Una exploración de los paralelismos entre la física moderna y el misticismo oriental

FRITJOF CAPRA



El universo es una eterna danza de partículas subatómicas cuyas relaciones entre sí son al mismo tiempo asombrosamente lógicas y totalmente inexplicables. Los místicos de todas las épocas han intentado captar este universo mediante la interiorización y la meditación. Los físicos nucleares lo exploran a través de la experimentación y la hipótesis. Sus caminos no pueden ser más dispares; sin embargo, vemos cómo cada uno, a su manera, descubre las mismas verdades. Con un lenguaje asequible a todo el mundo y sin complejas fórmulas matemáticas, el doctor Fritjof Capra explora en esta obra ya clásica los principales conceptos y teorías de la física moderna y los compara con las milenarias doctrinas budistas y taoístas. El resultado es un cuadro fascinante. Tanto la ciencia occidental como el misticismo oriental nos revelan una misma y única verdad: el Universo es un Todo íntimamente interconectado, un flujo incesante de energía del que todos formamos parte, aunque ciencia y misticismo tengan dos maneras distintas de expresar ese conocimiento.

Fritjof Capra

El Tao de la Física

Una exploración de los paralelismos entre la física moderna y el misticismo oriental

ePub r1.0
Titivillus 26.04.2021

Título original: *The Tao of Phisics*
Fritjof Capra, 1975
Traducción: Alma Alicia Martell Moreno
Ilustraciones: VV. AA.
Retoque de cubierta: Titivillus

Editor digital: Titivillus
ePub base r2.1


ÍNDICE

Dedico este libro a:

Ali Akbar Khan
Carlos Castaneda
Geoffrey Chew
John Coltrane
Wemer Heisenberg
Krishnamurti
Liu Hsiu Ch'i
Phiroz Mehta
Jerry Shesko
Bobby Smith
Maria Teuffenbach
Alan Watts,

por haberme ayudado a encontrar mi camino,
y a Jacqueline,
que ha viajado conmigo por él la mayor parte del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

El autor y los editores agradecen la autorización para reproducir las ilustraciones que figuran en las páginas siguientes:

Pág. 49: foto de Gary Elliott Burke.

Págs. 95, 271 y 272: CERN, Ginebra (Suiza).

Pág. 99: reproducción de zazen por E. M. Hooykaas y B. Schierbeck, Omen Press, Tucson (Arizona).

Págs. 102 y 172: herederos de Eliot Elisofon.

Pág. 109: Gunvor Moltessier.

Pág. 112: *The Evolution of the Buddha Image*, por Benjamin Rowland Jr., The Asia Society, Nueva York.

Págs. 120, 136 y 219: Museo Gulbenkian de Arte Oriental.

Pág. 297: *Zen and Japanese Culture*, de D. T. Suzuki, con permiso de Princeton University Press.

Pág. 157: *Physics in the Twentieth Century*, por Victor Weisskopf.

Pág. 168: Nordisk Pressefoto, Copenhagen (Dinamarca).

Pág. 228: Observatorios Hale, Pasadena (California).

Págs. 236, 260, 271, 274 y 306: Laboratorio Lawrence Berkeley, Berkeley (California).

Págs. 267 y 269: Laboratorio Nacional Argonne, Argonne (Illinois).

Pág. 280: reproducción de *The Arts of India*, por Ajit Mookerjee, Thames & Hudson (Londres).

Pág. 283: Clinton S. Bond/BBM.

Probablemente, una verdad muy general en la historia del pensamiento humano la constituya el hecho de que los más fructíferos descubrimientos tienen lugar en aquellos puntos en los que se encuentran dos líneas de pensamiento distintas. Estas líneas pueden tener sus raíces en sectores muy diferentes de la cultura humana, en diferentes épocas, en diferentes entornos culturales o en diferentes tradiciones religiosas. Por ello, si tal encuentro sucede, es decir, si entre dichas líneas de pensamiento se da, al menos, una relación que posibilite cualquier interacción verdadera, podemos estar seguros que de allí surgirán nuevos e interesantes descubrimientos.

WERNER HEISENBERG

PREFACIO A LA QUINTA EDICIÓN

Este libro fue publicado por primera vez hace veinticinco años y tuvo su origen en una experiencia que, como describo en el prefacio a la primera edición, data ya de más de treinta años. Por ello, me parece apropiado decir aquí algunas palabras a los lectores de esta nueva edición sobre las muchas cosas que durante estos años han sucedido —al libro, a la física y a mí mismo.

Cuando descubrí los paralelismos existentes entre la visión del mundo de los físicos y la de los místicos —paralelismos ya insinuados antes pero nunca explorados a fondo—, tuve la sensación de que simplemente estaba descubriendo algo que era totalmente obvio y que en el futuro sería del dominio público. Algunas veces, mientras escribía *El Tao de la física* incluso sentí que se estaba escribiendo a través de mí, más que por mí. Los acontecimientos posteriores confirmaron estas sensaciones. El libro fue recibido con gran entusiasmo en Inglaterra y en Estados Unidos. Pese a haber tenido una publicidad promocional mínima, su difusión fue muy rápida y hasta el día de hoy se ha editado en más de veinticinco países.

Como era de esperar, la reacción de la comunidad científica fue mucho más cautelosa, pero también en este campo el interés por las extensas implicaciones de la física actual es creciente. La aversión de los científicos modernos a aceptar las profundas similitudes existentes entre sus conceptos y los de los místicos no es una sorpresa, dado que el misticismo —al menos en Occidente— ha sido tradicionalmente relacionado —de manera totalmente equivocada— con principios vagos, misteriosos y en absoluto científicos. Por fortuna, esta actitud está cambiando. A medida que el pensamiento oriental ha comenzado a interesar a un número de personas cada vez mayor y al haber dejado de considerarse la meditación como algo ridículo o sospechoso, el misticismo se está empezando a tomar en serio, incluso dentro de la comunidad científica.

El éxito de *El Tao de la Física* tuvo un fuerte impacto en mi vida. Durante los últimos veinticinco años he viajado mucho, he dado conferencias ante neófitos y ante profesionales y he comentado las implicaciones de la «nueva física» con hombres y mujeres de todos los estratos. Al mismo tiempo, he explorado especialmente un tema: el cambio de visión que está ocurriendo a nivel mundial en la ciencia y en la sociedad, un cambio que no es más que el desarrollo de una nueva forma de ver la realidad, y también me he interesado por las implicaciones sociales que esta transformación cultural tendrá a partir de ahora.

He publicado los resultados de mis investigaciones en varios libros, algunos de ellos junto con otros colegas. En *El punto crucial* extendí el enfoque para abarcar otras ciencias además de la física, mostrando cómo la revolución ocurrida en este campo predijo las que iban a tener lugar en la biología, la medicina, la psicología y la economía, al igual que la transformación que se produciría en nuestra visión del mundo y en nuestros valores. Dos años después Charlene Spretnak y yo publicamos *Green Politics*, donde analizamos el surgimiento y los orígenes del Partido Verde alemán.

En *Sabiduría insólita* describí los diálogos y los encuentros que mantuve con algunos pensadores que me ayudaron a dar forma al tema desarrollado en *El punto crucial*. En *Pertenecer al universo* exploro, junto con el hermano David Steindl-Rast, los paralelismos existentes entre el nuevo pensamiento científico y el cristianismo.

EcoManagement, en el que colabora Ernest Callenbach y otros colegas, promueve la dirección y la administración consciente de la ecología y el desarrollo sostenible. *Steering Business Toward Sustainability*, coeditado con Gunter Pauli, es una serie de ensayos escritos por hombres de negocios, economistas y ecologistas donde se destacan enfoques prácticos de un desarrollo sostenible tanto en el mundo de los negocios como en la sociedad, los medios de comunicación y la enseñanza.

En mi último libro, *La trama de la vida*, volví a la ciencia. Partiendo de la estructura conceptual presentada en *La trama de la vida*, esta obra ofrece una síntesis de los descubrimientos recientes ocurridos en algunas de las áreas más avanzadas de la ciencia, incluyendo las teorías del caos y la complejidad. Confío en que esta síntesis se desarrollará hasta constituir una coherente nueva teoría de los sistemas vivos, que sirva como base conceptual de la visión ecológica de la realidad.

Durante los últimos veinticinco años me han preguntado con frecuencia acerca de la manera en que la exploración de los sistemas científicos ha

llegado a afectar a mi punto de vista sobre la ciencia y el misticismo, y si voy a realizar algún trabajo más en este sentido. Trato de responder a estas preguntas en el apéndice titulado «El futuro de la nueva física»; además, quiero incluir algunos comentarios referentes a la relación existente entre ciencia y espiritualidad.

Cuando escribí *El Tao de la física* creía que la nueva física podía ser un modelo para las demás ciencias y para la sociedad en general, al igual que la antigua física newtoniana lo había sido durante siglos. Sin embargo, durante la década de los ochenta mi punto de vista sobre este asunto cambió totalmente. Me di cuenta de que la mayoría de cuanto existe en nuestro entorno está vivo. Al relacionarnos con los demás seres humanos, con la naturaleza que nos rodea, con las organizaciones sociales y con la economía, estamos siempre tratando con sistemas vivos. La física poco nos puede decir acerca de estos sistemas. Nos puede suministrar información sobre las estructuras materiales, sobre las energías, sobre la entropía, etc., pero la naturaleza de la vida misma es algo que se le escapa.

Así pasé a darme cuenta de que la ecología es realmente la estructura que mejor abarca a la nueva visión de la realidad. La ecología presenta múltiples manifestaciones que incluyen desde la ciencia de los ecosistemas hasta los estilos de vida ecológicos, los sistemas de valores, las estrategias económicas, la política y, finalmente, la filosofía.

Existe incluso una escuela filosófica conocida como «psicología profunda», que fue fundada a principios de la década de los setenta por el filósofo noruego Arne Naess. La psicología profunda no ve el mundo como una serie de objetos aislados, sino como una red de fenómenos interconectados y al mismo tiempo independientes. Reconoce el valor intrínseco de todos los seres vivos y considera que los humanos —según las palabras atribuidas al jefe Seattle— son simplemente una hebra más de la trama de la vida. Esta filosofía engendra un profundo sentimiento de conectividad, de contexto, de relación y de pertenencia.

En este profundo nivel la ecología se funde con la espiritualidad, pues la experiencia de estar conectado con toda la naturaleza y de pertenecer al universo es la esencia misma de la espiritualidad. En el otro extremo del espectro, la ecología está científicamente basada en la teoría de los sistemas vivos. Así, surge la pregunta: ¿qué puede decirnos la nueva teoría de los sistemas vivos acerca de la espiritualidad?

La ciencia de los sistemas poco nos aporta sobre la espiritualidad, pero es interesante ver que sí nos habla de la naturaleza del espíritu humano. Parte de

la nueva teoría de los sistemas vivos es una nueva comprensión de la mente y la consciencia que ya comenté en *La trama de la vida*. Dicho brevemente, esta nueva teoría afirma que la cognición (el proceso de conocer) es idéntica al proceso de la vida en cualquier nivel de los sistemas vivos. Según esta teoría, denominada la teoría cognitiva de Santiago, la mente no es una cosa, sino un proceso. La mente es el proceso de la cognición, que no es más que el proceso de la vida, y la conciencia constituye una forma más elaborada de ese mismo proceso.

La teoría de Santiago nos da, a mi manera de ver, el primer marco científico coherente que soluciona el divorcio entre mente y materia. Mente y materia ya no son conceptos pertenecientes a categorías distintas, sino que representan dos aspectos complementarios del fenómeno de la vida: el aspecto proceso y el aspecto estructura. La mente es el proceso de la vida, el proceso de la cognición. El cerebro (y por supuesto la totalidad del cuerpo) es la estructura a través de la cual este proceso se manifiesta.

Este es un punto de vista profundamente nuevo y, al mismo tiempo, muy antiguo. Si nos volvemos hacia las culturas antiguas y sus tradiciones filosóficas espirituales —tanto orientales como occidentales—, vemos que la distinción original no era entre cuerpo y mente, sino entre cuerpo y alma o espíritu. Y si observamos los antiguos vocablos usados para «alma» y «espíritu» —el sánscrito *atman*, el latín *anima* y *spiritus*, el griego *psyche* y *pneuma*, el hebreo *ruach*—, vemos que todos tienen un significado común. Todos significan «aliento». Intuitivamente el espíritu fue concebido como el aliento vital.

Para mí esto es fascinante. Cuando los nuevos sistemas ven a la mente o cognición como el proceso vital y las tradiciones antiguas ven al espíritu como el aliento vital, en realidad están expresando la misma verdad —los primeros, en el lenguaje técnico de la ciencia; las segundas, en el poético y metafórico de la espiritualidad—. El espíritu es el aliento de vida. Nuestros momentos espirituales son los momentos en los que nos sentimos más vivos. En esos momentos somos también totalmente conscientes de nuestro entorno y tenemos la sensación profunda de pertenecer al Todo.

La presente edición de este libro ha sido actualizada, incluyendo resultados de las más recientes investigaciones realizadas en el campo de la física subatómica. Para ello he cambiado ligeramente algunos párrafos del texto a fin de sintonizarlos con las nuevas investigaciones, y también he añadido al final del libro un nuevo capítulo, al que he titulado «Vuelta a la nueva física», en el que describo con detalle los nuevos descubrimientos de la

física subatómica. Para mí ha sido una gran satisfacción comprobar que ninguno de estos recientes descubrimientos ha invalidado nada de lo que escribí hace veinticinco años. De hecho, la mayoría de ellos se anticiparon ya en la versión original. Esto ha venido a reforzar la intensa creencia que me motivó a escribir este libro: que los temas básicos que utilizo en mi comparación entre la física y el misticismo serán confirmados, más que invalidados, por las futuras investigaciones.

Además, ahora siento que estoy pisando un terreno mucho más firme con mi tesis, pues los paralelismos con el misticismo oriental están apareciendo no solo en el campo de la física, sino también en la biología, en la psicología y en otras ciencias. Esta es una impresionante evidencia de que la filosofía de las tradiciones místicas, también conocida como «filosofía perenne», constituye una base filosófica muy consistente para nuestras teorías científicas modernas.

FRITJOF CAPRA
Berkeley, mayo de 1999

PREFACIO A LA PRIMERA EDICIÓN

Una hermosa experiencia que tuve hace cinco años me situó en el camino que más adelante me llevaría a escribir este libro. Estaba yo una tarde de verano sentado frente al océano, con el sol ya declinando. Observaba el movimiento de las olas y sentía al mismo tiempo el ritmo de mi respiración, cuando de pronto fui consciente de que todo lo que me rodeaba parecía estar enzarzado en una gigantesca danza cósmica. Como físico, sabía que la arena, las rocas, el agua y el aire que había a mi alrededor estaban formados por vibrantes moléculas y átomos y que estos, a su vez, se componían de partículas que interactuaban unas con otras creando y destruyendo otras partículas. También sabía que la atmósfera de la Tierra es bombardeada continuamente por una lluvia de «rayos cósmicos», partículas de alta energía que sufren múltiples colisiones al penetrar en la atmósfera. Todo esto me resultaba conocido por mis investigaciones físicas en el campo de la alta energía, pero hasta aquel momento solo lo había experimentado a través de gráficos, diagramas y teorías matemáticas. Sin embargo, sentado en aquella playa, mis anteriores experiencias cobraron vida; «vi» cascadas de energía que llegaban del espacio exterior, en las que las partículas eran creadas y destruidas siguiendo una pulsación rítmica; «vi» los átomos de los elementos y los de mi cuerpo participando en aquella danza cósmica de energía; sentí su ritmo y «oí» su sonido, y en ese momento supe que aquella era la danza de Shiva, el Señor de los Danzantes adorado por los hindúes.

Hasta entonces había pasado por un largo entrenamiento en física teórica y había dedicado varios años a la investigación. Al mismo tiempo me interesé por el misticismo oriental y comencé a ver analogías entre dicho misticismo y la física moderna. Me sentí especialmente atraído por los enigmáticos aspectos del zen, que me recordaron los misterios de la teoría cuántica. Al principio, estas relaciones fueron un ejercicio puramente intelectual. Salvar el abismo entre el pensamiento racional analítico y la experiencia meditativa de la verdad mística fue, y todavía es, algo muy difícil para mí.

En un primer momento me ayudaron «centrales de energía» que me enseñaron cómo la mente puede fluir en libertad y cómo las evidencias espirituales llegan por sí mismas, sin esfuerzo alguno, emergiendo de las profundidades de la conciencia.

Recuerdo mi primera experiencia de este tipo. Después de años de pensamiento detallado y analítico, su llegada fue tan arrolladora que me hizo estallar en lágrimas, de un modo no distinto a Castaneda, y volqué seguidamente mis impresiones en un trozo de papel.

Más tarde me llegó la experiencia de la Danza de Shiva, que intenté captar en el montaje fotográfico que muestro al inicio del capítulo 15. A esta experiencia le siguieron otras parecidas que me ayudaron a darme gradualmente cuenta de que una nueva visión del mundo está comenzando a emerger desde la física moderna, en armonía con la antigua sabiduría oriental. Durante años tomé muchas notas y escribí algunos artículos sobre los paralelismos que iba descubriendo, hasta que finalmente resumí mis experiencias en el presente libro. Este va dirigido al lector interesado en el misticismo oriental, que no tiene necesariamente que saber nada sobre física. He intentado presentar los principales conceptos y teorías de la física moderna sin ningún tipo de matemáticas y en un lenguaje nada técnico; pese a ello, en su primera lectura algunos párrafos pueden parecer todavía difíciles al profano.

Los términos técnicos que me he visto obligado a citar están todos ellos definidos allí donde aparecen por primera vez.

Espero también que entre mis lectores haya físicos interesados en los aspectos filosóficos de esta disciplina que no hayan tenido todavía ningún contacto con las filosofías religiosas de Oriente. Hallarán que el misticismo oriental proporciona un consistente y hermoso esquema filosófico, en el que se pueden acomodar nuestras más avanzadas teorías sobre el mundo físico.

En relación con el contenido del libro, es posible que el lector sienta una cierta falta de equilibrio entre las presentaciones de los pensamientos científico y místico. A medida que avance en la lectura, su comprensión de la física deberá ser cada vez mayor, pero quizá no se dé una progresión semejante en su entendimiento del misticismo oriental. Esto es algo que parece inevitable, ya que el misticismo es, antes que nada, una experiencia que no puede aprenderse en los libros. Cualquier tradición mística solo podrá comprenderse en profundidad si uno se involucra totalmente en ella. Mi máxima aspiración en este sentido sería hacer que el lector llegara a considerar ese involucrarse como algo deseable y positivo.

Mientras escribía este libro, mi comprensión del pensamiento oriental aumentó considerablemente, gracias en gran parte a dos hombres procedentes de Oriente. Estoy profundamente agradecido a Phiroz Mehta, por abrirme los ojos a muchos aspectos del misticismo hindú, y a mi maestro de T'ai Chi, Liu Hsiu Ch'i, por introducirme en el taoísmo vivo.

Me es imposible mencionar los nombres de todos aquellos —científicos, artistas, estudiantes y amigos— que me ayudaron a formular mis ideas a través de estimulantes discusiones. Sin embargo, creo que debo una especial gratitud a Graham Alexander, Jonathan Ashmore, Stratford Caldecott, Lyn Gambles, Sonia Newby, Ray Rivers, Joël Scherk, George Sudarshan y Ryan Thomas.

Finalmente, siempre estaré en deuda con la señora Pauly Bauer-Ynnhof, de Viena, por su generoso apoyo financiero en el momento en que más lo necesitaba.

FRITJOF CAPRA
Londres, diciembre de 1974



I

EL CAMINO DE LA FÍSICA

Cualquier camino es solo un camino y no es vergonzoso, ni para uno mismo ni para los demás, abandonarlo si así te lo dicta tu corazón […] Observa detalladamente cada uno de los caminos. Ponlos a prueba tantas veces como creas necesario. Luego pregúntate a ti mismo, y solo a ti mismo, lo siguiente: «¿Tiene corazón este camino?». Si lo tiene, el camino es bueno; si no lo tiene, no sirve para nada.

CARLOS CASTANEDA,
Las enseñanzas de don Juan.

1

LA FÍSICA MODERNA:
¿un camino con corazón?

La influencia que la física moderna ha tenido en casi todos los aspectos de la sociedad humana es notable. Se ha convertido en la base de las ciencias naturales, y la combinación de las ciencias naturales y las ciencias técnicas ha cambiado fundamentalmente las condiciones de la vida sobre la Tierra, tanto para bien como para mal. En nuestros días, apenas hay una industria que no utilice de algún modo los resultados de la física atómica, y la influencia que estos han tenido en la estructura política del mundo por sus aplicaciones en el armamento atómico es de sobra conocida. Sin embargo, la influencia de la física moderna va mucho más allá de la tecnología. Se extiende al campo del pensamiento y de la cultura, donde ha generado una profunda revisión de nuestros conceptos sobre el universo y de nuestra relación con él. La exploración de los mundos atómico y subatómico llevada a cabo durante el siglo XX ha puesto de manifiesto la antes insospechada estrechez y limitación de las ideas clásicas y ha motivado una revisión radical de muchos de nuestros conceptos básicos. Así, el concepto de materia en la física subatómica, por ejemplo, es totalmente diferente de la idea tradicional asignada a la sustancia material en la física clásica. Lo mismo ocurre con los conceptos de tiempo, espacio, causa y efecto. Y dado que nuestra perspectiva del mundo está basada en tales conceptos fundamentales, al modificarse estos, nuestra visión del mundo ha comenzado a cambiar.

Estos cambios originados por la física moderna fueron ampliamente comentados durante las últimas décadas tanto por físicos como por filósofos, pero en raras ocasiones se observó que todos ellos parecen llevar hacia una misma dirección: hacia una visión del mundo que resulta muy parecida a la que presenta el misticismo oriental. Los conceptos de la física moderna muestran con frecuencia sorprendentes paralelismos con las filosofías religiosas del Lejano Oriente. Aunque estos paralelismos no han sido todavía

explorados en profundidad, sí fueron advertidos por algunos de los grandes físicos del siglo pasado, cuando con motivo de sus conferencias en la India, China y Japón, entraron en contacto con aquella cultura. Las tres citas siguientes son un ejemplo de ello:

> Las ideas generales sobre el entendimiento humano […] ilustradas por los descubrimientos ocurridos en la física atómica, no constituyen cosas del todo desconocidas, de las que jamás se oyera hablar, ni tampoco nuevas. Incluso en nuestra propia cultura tienen su historia y en el pensamiento budista e hindú ocupan un lugar muy importante y central. Lo que hallaremos es un ejemplo, un desarrollo y un refinamiento de la sabiduría antigua[1].
>
> JULIUS ROBERT OPPENHEIMER

> De un modo paralelo a las enseñanzas de la teoría atómica […] al tratar de armonizar nuestra posición como espectadores y actores del gran drama de la existencia [tenemos que considerar] ese tipo de problemas epistemológicos, con los que pensadores como Buda y Lao Tse tuvieron ya que enfrentarse[2].
>
> NIELS BOHR

> La gran contribución a la física teórica llegada de Japón desde la última guerra puede indicar cierta relación entre las ideas filosóficas tradicionales del Lejano Oriente y la sustancia filosófica de la teoría cuántica[3].
>
> WERNER HEISENBERG

La finalidad del presente libro es explorar esta relación existente entre los conceptos de la física moderna y las ideas básicas de las tradiciones religiosas y filosóficas del Lejano Oriente. Veremos cómo los dos pilares de la física del

siglo XX —la teoría cuántica y la teoría de la relatividad— nos obligan a ver el mundo del mismo modo que lo ve un hindú, un budista o un taoísta, y también cómo esa similitud cobra fuerza cuando contemplamos los recientes intentos por combinar ambas teorías, a fin de lograr una explicación para los fenómenos del mundo submicroscópico: las propiedades y las interacciones de las partículas subatómicas de las que toda materia está formada. En este campo, los paralelismos entre la física moderna y el misticismo oriental son más que sorprendentes y con frecuencia tropezaremos con afirmaciones que será casi imposible reconocer si fueron efectuadas por físicos o por místicos orientales.

Cuando digo «misticismo oriental» me refiero a las filosofías religiosas del hinduismo, del budismo y del taoísmo. Aunque estas comprenden un vasto número de sistemas filosóficos y de disciplinas espirituales sutilmente entretejidas, los rasgos básicos de su visión del mundo son idénticos. Tal visión no está limitada a Oriente, sino que en algún grado podemos hallarla en todas las filosofías con una orientación mística. El argumento de este libro podría, entonces, ser expresado de una forma más general, afirmando que la física moderna nos lleva a una visión del mundo que es muy similar a la de los místicos de todas las épocas y tradiciones. Las tradiciones místicas están presentes en todas las religiones, y pueden encontrarse también elementos místicos en muchas escuelas filosóficas occidentales. Los paralelismos con la física moderna no solo aparecen en los *Vedas*, en el *I Ching* o en los *sutras* del budismo, sino también en fragmentos de Heráclito, en el sufismo de lbn Arabi y en las enseñanzas del brujo yaqui don Juan. La diferencia entre Oriente y Occidente se encuentra en que en este último las escuelas místicas siempre han desempeñado un papel marginal, mientras que en Oriente constituyen la corriente principal del pensamiento filosófico y religioso. Por lo tanto, para mayor sencillez, hablaré de la «visión oriental del mundo» y solo ocasionalmente mencionaré otras fuentes del pensamiento místico.

Al conducirnos hoy a una visión del mundo esencialmente mística, la física está de algún modo volviendo a sus comienzos de hace dos mil quinientos años. Es interesante seguir la evolución de la ciencia occidental a través de su camino espiritual, partiendo de las filosofías místicas de los antiguos griegos, elevándose y desplegándose con una evolución intelectual impresionante y separándose cada vez más de sus orígenes místicos hasta llegar a desarrollar una visión del mundo en total contraste con la del Lejano Oriente. Ahora, en sus etapas más recientes, la ciencia occidental está finalmente superando esta visión y volviendo a la de los antiguos griegos y la

de las filosofías orientales. Esta vez, sin embargo, no se basa solamente en la intuición, sino en un riguroso y consistente formulismo matemático.

Las raíces de la física, como las de toda la ciencia occidental, se hallan en el primer período de la filosofía griega, en el siglo VI a. de C., en una cultura en la que no existía separación alguna entre ciencia, filosofía y religión. Los sabios de la escuela de Mileto no se preocupaban de tales distinciones. Su finalidad era descubrir la naturaleza esencial, la constitución real de las cosas, que ellos llamaron *physis*. El término «física» se deriva de esta palabra griega y, por lo tanto, inicialmente significaba el empeño por conocer la naturaleza esencial de todas las cosas.

Esta, desde luego, es también la finalidad central de todos los místicos, y la filosofía de la escuela de Mileto poseía ciertamente un fuerte aroma místico. Los de Mileto fueron llamados «hylozoístas» —los que creen que la materia está viva— por los griegos más modernos, porque no veían diferencia alguna entre lo animado y lo inanimado, entre espíritu y materia. De hecho, ni siquiera tenían una palabra para designar a la materia, pues consideraban que todas las formas de existencia eran manifestaciones de la *physis* dotadas de vida y de espiritualidad. Así, Tales declaró que todas las cosas están llenas de dioses y Anaximandro vio el universo como una especie de organismo sostenido por el «pneuma» o aliento cósmico, del mismo modo que el cuerpo humano se halla sustentado por el aire.

La visión monista y orgánica de los filósofos de Mileto se encontraba muy cercana a las antiguas filosofías de China e India, y estos paralelismos con el pensamiento oriental se acentúan todavía más en Heráclito de Éfeso. Heráclito creía en un mundo en perpetuo cambio, en un eterno «devenir». Para él todo ser estático estaba basado en un error de apreciación y su principio universal era el fuego, símbolo del flujo continuo y del cambio de todas las cosas. Enseñó que todos los cambios que se producen en el mundo ocurren por la interacción dinámica y cíclica de los opuestos, y consideraba que todo par de opuestos formaba una unidad. A esa unidad, que contiene y trasciende todas las fuerzas opuestas, la llamó el Logos.

Esta unidad comenzó a resquebrajarse con la escuela de Elea, que asumió la existencia de un principio divino que prevalecía sobre todos los dioses y los hombres. Inicialmente se identificó a este principio con la unidad del universo, pero luego se consideró que era un dios inteligente y personal que gobierna y dirige el mundo. Así comenzó una tendencia de pensamiento que llevó finalmente a la separación entre espíritu y materia y a un dualismo que se convirtió en la característica de la filosofía occidental.

Parménides de Elea, cuyo pensamiento era totalmente opuesto al de Heráclito, dio un paso decisivo en esa dirección. Llamó a su principio básico el Ser y sostuvo que era único e invariable. Consideró que el cambio era imposible y anunció que las modificaciones que creemos percibir en el mundo son meras ilusiones de los sentidos. A partir de esa filosofía, el concepto de una sustancia indestructible que presenta propiedades variables fue creciendo, hasta llegar a convertirse en uno de los conceptos fundamentales del pensamiento occidental. En el siglo V a. de C., los filósofos griegos intentaron superar el agudo contraste que existía entre las visiones de Parménides y Heráclito. A fin de reconciliar la idea del Ser inmutable (de Parménides) con el eterno devenir (de Heráclito), asumieron que el Ser se manifiesta en ciertas sustancias invariables y que su mezcla o separación origina los cambios que tienen lugar en el mundo. Esto los llevó al concepto del átomo, la unidad más pequeña de materia indivisible, cuya más clara expresión se halla en la filosofía de Leucipo y Demócrito. Los atomistas griegos trazaron una clara línea divisoria entre espíritu y materia, representando la materia como constituida por diversos «ladrillos básicos». Estos eran partículas puramente pasivas e intrínsecamente muertas que se movían en el vacío. No se explicaba la causa de su movimiento, pero se solía relacionar con fuerzas externas que se suponían de origen espiritual y que eran fundamentalmente diferentes de la materia. En siglos posteriores esta imagen se convirtió en un elemento esencial del pensamiento occidental, del dualismo entre mente y materia, entre cuerpo y alma.

Una vez que la idea de la separación entre espíritu y materia hubo arraigado, los filósofos, en lugar de hacia el mundo material, volcaron su atención hacia el mundo espiritual, hacia el alma humana y los asuntos de la ética y la moralidad. Estas cuestiones ocuparon el pensamiento occidental durante más de dos mil años, a partir de la culminación de la ciencia y la cultura griegas que tuvo lugar en los siglos V y IV a. de C. El conocimiento científico de la antigüedad fue sistematizado y organizado por Aristóteles, quien creó el esquema que serviría de base durante dos mil años a la concepción occidental del universo. Aristóteles creía que las cuestiones relativas a la perfección del alma humana y a la contemplación de Dios eran mucho más importantes que las investigaciones sobre el mundo material. La razón por la que el modelo aristotélico del universo permaneció incontestado durante tanto tiempo fue precisamente esa falta de interés en el mundo material, y también la gran influencia de la Iglesia cristiana, que apoyó sus doctrinas durante toda la Edad Media.

La ciencia occidental no alcanzó mayor desarrollo hasta la llegada del Renacimiento. Fue entonces cuando el hombre comenzó a liberarse de la influencia de Aristóteles y de la Iglesia, mostrando un nuevo interés en la naturaleza. El estudio del mundo natural con un espíritu realmente científico se llevó a cabo por primera vez a finales del siglo XV, cuando se efectuaron experimentos a fin de demostrar las ideas especulativas. Dado que este desarrollo se dio paralelo a un creciente interés por las matemáticas, finalmente condujo a la formulación de verdaderas teorías científicas basadas en la experimentación y expresadas en lenguaje matemático. Galileo fue el primero que combinó el conocimiento experimental con las matemáticas y es, por ello, considerado el padre de la ciencia moderna.

El nacimiento de la ciencia moderna fue precedido y acompañado por una evolución del pensamiento filosófico que llevó a una formulación extrema del dualismo espíritu-materia. Esta formulación apareció en el siglo XVII con la filosofía de René Descartes, quien basó su visión de la naturaleza en una división fundamental, en dos reinos separados e independientes: el de la mente (*res cogitans*) y el de la materia (*res extensa*). Esta división cartesiana permitió a los científicos tratar la materia como algo muerto y totalmente separado de ellos mismos, considerando el mundo material como una multitud de objetos diferentes, ensamblados entre sí para formar una máquina enorme. Esta visión mecanicista del mundo la mantuvo también Isaac Newton, quien construyó su mecánica sobre esta base y la convirtió en los cimientos de la física clásica. Desde la segunda mitad del siglo XVII hasta finales del XIX, el modelo mecanicista newtoniano del universo dominó todo el pensamiento científico. Fue paralelo a la imagen de un Dios monárquico, que gobernaba el mundo desde arriba, imponiendo en él su divina ley. Así, las leyes de la naturaleza investigadas por los científicos fueron consideradas como las leyes de Dios, invariables y eternas, a las que el mundo se hallaba sometido.

La filosofía de Descartes no solo tuvo su importancia en el desarrollo de la física clásica, sino que además ejerció una influencia tremenda sobre el modo de pensar occidental, hasta nuestros días. La famosa frase de Descartes «*cogito ergo sum*» —«pienso, luego existo»— llevó al hombre occidental a considerarse identificado con su mente, en lugar de hacerlo con todo su organismo. Como consecuencia de esta división cartesiana, la mayoría de los individuos son conscientes de sí mismos como egos aislados, que existen «dentro» de sus cuerpos. La mente fue separada del cuerpo y se le asignó la fútil tarea de controlarlo, causando así un aparente conflicto entre la voluntad

consciente y los instintos involuntarios. Cada individuo fue además dividido en un gran número de compartimentos separados, de acuerdo con sus actividades, sus talentos, sus sentimientos, sus creencias y así sucesivamente, generándose de este modo conflictos sin fin, una gran confusión metafísica y una continua frustración.

Esta fragmentación interna es un reflejo del «mundo exterior», percibido como una multitud de objetos y acontecimientos separados. El entorno natural es tratado como si consistiera en partes independientes, que existen para ser explotadas por diferentes grupos de interés. Esta visión fragmentada es acentuada todavía por la sociedad, dividida en diferentes naciones, razas y grupos religiosos y políticos. La creencia de que todos esos fragmentos —en nosotros mismos, en nuestro entorno y en nuestra sociedad— están realmente separados puede considerarse la razón esencial de la presente serie de crisis sociales, ecológicas y culturales. Nos ha alejado de la naturaleza y de nuestros congéneres humanos. Ha generado una distribución enormemente injusta de los recursos naturales, creando el desorden político y económico, una creciente ola de violencia —tanto espontánea como institucionalizada— y un feo y contaminado medio ambiente, en el que la vida se ha tornado a veces malsana, tanto física como mentalmente.

La división cartesiana y el concepto mecanicista del mundo han sido al mismo tiempo benéficos y perjudiciales. Fueron benéficos para el desarrollo de la física y de la tecnología clásicas, pero han tenido muchas consecuencias adversas para nuestra civilización. Es fascinante ver cómo la ciencia del siglo XX, que tuvo su origen en la división cartesiana y en el concepto de un mundo mecanicista y que realmente solo llegó a ser posible a causa de dicho concepto, supera ahora esa fragmentación y vuelve a la idea de unidad, tal como era expresada en las primitivas filosofías griegas y orientales.

Contrastando con el concepto mecanicista occidental, la visión oriental del mundo es «orgánica». Para el místico oriental, todas las cosas y los sucesos percibidos por los sentidos están conectados e interrelacionados, y no son sino diferentes aspectos o manifestaciones de una misma realidad última. Nuestra tendencia a dividir el mundo que percibimos en entes individuales y separados y a vernos a nosotros mismos como egos aislados se considera una ilusión, creada por nuestra mentalidad medidora y clasificadora. En la filosofía budista se la llama *avidya* o ignorancia, y es considerada un estado mental confuso que se debe superar:

> Cuando la mente está confusa, se produce la multiplicidad de las cosas; sin embargo, cuando la mente está tranquila, desaparece la multiplicidad de las cosas[4].

Aunque las diversas escuelas de misticismo oriental difieren en muchos detalles, todas ellas resaltan la unidad básica del universo, y esto constituye el rasgo central de sus enseñanzas. Para sus seguidores —ya sean hindúes, budistas o taoístas—, la meta más elevada es llegar a ser conscientes de la unidad e interrelación mutua de todas las cosas, trascendiendo la noción de ser un individuo aislado e identificándose a sí mismos con la realidad última. La aparición de esa conciencia —conocida como «iluminación»— no es solo un acto intelectual, sino que se trata de una experiencia que afecta a la totalidad de la persona y cuya naturaleza es definitivamente religiosa. Y ese es el motivo por el cual la mayoría de las filosofías orientales son esencialmente filosofías religiosas.

Desde el punto de vista oriental, la división de la naturaleza en objetos separados no es algo fundamental y cualquiera de tales objetos posee un carácter fluido y siempre cambiante. Así, el concepto oriental del mundo es intrínsecamente dinámico y entre sus rasgos esenciales se encuentran el tiempo y el cambio. El cosmos es considerado una realidad inseparable —siempre en movimiento, vivo, orgánico, espiritual y material al mismo tiempo.

Dado que el movimiento y el cambio constituyen las propiedades esenciales de las cosas, las fuerzas que causan el movimiento no están fuera de los objetos, como ocurría en la concepción de los clásicos griegos, sino que son una propiedad intrínseca de la materia. Del mismo modo, la imagen oriental de la divinidad no es la de un gobernante que dirige al mundo desde lo alto, sino la de un principio que lo controla todo desde dentro:

> Aquel que habita en todas las cosas,
> y sin embargo es diferente a ellas,
> a quien ninguna cosa conoce,
> cuyo cuerpo son todas las cosas,
> que controla todo desde dentro.
> Él es tu alma, el Controlador Interno,
> el Inmortal[5].

Los siguientes capítulos mostrarán que los elementos básicos de la concepción oriental del mundo son los mismos que se desprenden de la física

moderna. En ellos, trato de sugerir que el pensamiento oriental, y de un modo más general todo el pensamiento místico, ofrece una base filosófica relevante y congruente con las teorías de la ciencia contemporánea, una concepción del mundo en la que los descubrimientos científicos pueden estar en perfecta armonía con las metas espirituales y las creencias religiosas. Los dos temas básicos de esta concepción son la unidad e interrelación de todos los fenómenos y la naturaleza intrínsecamente dinámica del universo. Cuanto más penetremos en el mundo submicroscópico, más nos daremos cuenta de que el físico moderno, al igual que el místico oriental, ha llegado a ver el mundo como un sistema de componentes inseparables, interrelacionados y en constante movimiento, en el que el observador constituye una parte integral de dicho sistema.

La concepción orgánica y «ecológica» del mundo que presentan las filosofías orientales es sin duda una de las razones que explican la inmensa popularidad que han alcanzado estas filosofías en Occidente, especialmente entre los jóvenes. En nuestra cultura occidental, cada vez más personas consideran que la todavía dominante visión mecanicista y fragmentada del mundo es la causa del descontento tan generalizado que se da en nuestra sociedad, por lo que pasan a adoptar —muchas de esas personas— las formas orientales de liberación. Es interesante, y quizá no demasiado sorprendente, que aquellos que se sienten atraídos por el misticismo oriental, que consultan el *I Ching* y practican yoga u otras formas de meditación, tengan en general una marcada actitud anticientífica. Tienden a ver la ciencia, y la física en particular, como una disciplina de estrechas miras, sin imaginación, y como la responsable de todos los males de la tecnología moderna.

Este libro pretende mejorar la imagen de la ciencia, mostrando la existencia de una armonía esencial entre el espíritu de la sabiduría oriental y la ciencia occidental. Trata de sugerir que la física moderna va mucho más allá de la tecnología, que el camino —o Tao— de la física puede ser un camino con corazón, un camino hacia el conocimiento espiritual y hacia la autorrealización.

2

SABER Y VER

¡De lo irreal, llévame a lo real!
¡De la oscuridad, llévame a la luz!
¡De la muerte, llévame a la inmortalidad!

Brihad-aranyaka Upanishad.

Antes de estudiar el paralelismo existente entre la física moderna y el misticismo oriental, hemos de abordar la siguiente cuestión: ¿cómo es posible efectuar algún tipo de comparación entre una ciencia exacta, que se expresa en el lenguaje altamente sofisticado de las matemáticas modernas, y unas disciplinas espirituales basadas principalmente en la meditación y que, además, insisten en que sus vivencias no pueden ser comunicadas verbalmente?

Lo que vamos a comparar son las afirmaciones efectuadas por científicos y por místicos orientales acerca de su conocimiento del mundo. A fin de establecer un esquema adecuado que nos permita llevar a cabo esta comparación, debemos antes que nada preguntarnos a nosotros mismos a qué tipo de conocimiento nos estamos refiriendo. Al usar la palabra *conocimiento*, ¿quiere decir lo mismo un monje budista de Angkor Wat o de Kioto que un físico de Oxford o de Berkeley? En segundo lugar, ¿qué clase de afirmaciones vamos a comparar?, ¿qué vamos a seleccionar de los datos experimentales, de las ecuaciones y las teorías por un lado y de las escrituras sagradas, de los antiguos mitos y de los tratados filosóficos por otro? Este capítulo intentará aclarar estos dos puntos: la naturaleza del conocimiento que se va a comparar y el lenguaje en el cual ha sido expresado dicho conocimiento.

A lo largo de la historia, se ha considerado que la mente humana es capaz de dos tipos de conocimiento, o dos formas de conciencia, a las que con frecuencia se ha denominado racional e intuitiva y que tradicionalmente se han asociado respectivamente con la ciencia y la religión. En Occidente, el tipo de conocimiento intuitivo y religioso con frecuencia es devaluado para favorecer el conocimiento racional y científico, mientras que la actitud tradicional oriental es justamente la contraria. Las siguientes afirmaciones sobre el conocimiento, procedentes de dos grandes mentes de Occidente y de Oriente, pueden servir de ejemplo a ambas posiciones. Sócrates, en Grecia, pronunció su famosa frase: «Solo sé que no sé nada», mientras que Lao Tse, en China, afirmó: «Es mejor no saber que se sabe». En Oriente, los valores atribuidos a ambos tipos de conocimiento nos son claramente indicados por los nombres que se les da: los *Upanishads*, por ejemplo, hablan de un conocimiento superior y de un conocimiento inferior y relacionan el segundo con las diversas ciencias y el primero con la conciencia religiosa. Los budistas hablan de «conocimiento relativo» y «conocimiento absoluto» o de «verdad condicional» y «verdad trascendental». La filosofía china siempre ha señalado la naturaleza complementaria de lo intuitivo y lo racional, representándolos con la pareja arquetípica yin y yang, que constituyen la base del pensamiento chino. Del mismo modo, se desarrollaron en la antigua China dos tradiciones filosóficas complementarias —el taoísmo y el confucionismo—, a fin de tratar con ambos tipos de conocimiento.

El conocimiento racional se forma con las experiencias que tenemos con los objetos y los sucesos de nuestro entorno diario. Pertenece al reino del intelecto, cuya función es la de discriminar, medir, comparar, dividir y categorizar. De este modo, creamos un mundo de distinciones intelectuales, de opuestos, que solo pueden existir en relación unos con otros, y esta es la razón por la que los budistas llaman a este conocimiento «relativo».

La abstracción es el rasgo crucial de este tipo de conocimiento, pues para comparar y clasificar la inmensa variedad de formas, estructuras y fenómenos que nos rodean, nos es imposible tener en cuenta todos sus rasgos; por ello hemos de seleccionar unos pocos de los más significativos. De este modo construimos un mapa intelectual de la realidad, en el que las cosas están reducidas a sus rasgos más generales. El conocimiento racional constituye así un sistema de conceptos y símbolos abstractos, caracterizado por una secuencia lineal y secuencial, típica de nuestro modo de pensar y de nuestro hablar. En la mayoría de los idiomas esa estructura lineal se evidencia en el

uso de alfabetos que sirven para comunicar experiencias y pensamientos mediante largas líneas de letras.

Por otro lado, el mundo natural es un mundo de infinitas variedades y complejidades, un mundo multidimensional que no contiene líneas rectas ni formas absolutamente regulares y donde las cosas no suceden en secuencias sino todas juntas, un mundo —como nos dice la física moderna— en el que incluso el espacio vacío es curvo. Es evidente que nuestro sistema abstracto de pensamiento conceptual nunca podrá describir ni entender por completo esta realidad. Al pensar en el mundo nos enfrentamos al mismo tipo de problema que afronta el cartógrafo que trata de cubrir la superficie curvada de la Tierra con una serie de mapas planos. Con tal procedimiento podemos solo esperar una representación aproximada de la realidad, y por ello todo el conocimiento racional estará necesariamente limitado.

> El reino del conocimiento racional es, por supuesto, el reino de la ciencia que mide, cuantifica, clasifica y analiza. Las limitaciones de cualquier conocimiento obtenido con estos métodos se han hecho cada vez más evidentes en la moderna ciencia y en particular en la física moderna, la cual nos enseña que «toda palabra o concepto, por claro que pueda parecernos, tiene solo un limitado margen de aplicabilidad[1]».

Para la mayoría de nosotros resulta muy difícil ser conscientes de las limitaciones y de la relatividad del conocimiento conceptual. Dado que nuestra representación de la realidad es mucho más fácil de captar que la realidad misma, tendemos a confundir una con la otra y a tomar nuestros conceptos y nuestros símbolos como la realidad. Una de las principales metas del misticismo oriental es liberarnos de esa confusión. Los budistas zen dicen que para señalar a la luna es necesario un dedo, pero que una vez que hemos ya reconocido a la luna, debemos dejar de preocuparnos por el dedo. El sabio taoísta Chuang Tzu escribió:

> Las cestas de pescar se emplean para coger peces pero una vez conseguido el pez, el hombre se olvida de las cestas. Las trampas se emplean para atrapar liebres, pero una vez cogidas las liebres, los hombres se olvidan de las trampas. Las palabras se emplean para expresar ideas, pero una vez transmitidas las ideas, los hombres se olvidan de las palabras[2].

En Occidente, el especialista en semántica Alfred Korzybski tocó exactamente el mismo punto con su acertado eslogan: «El mapa no es el territorio».

Lo que interesa a los místicos orientales es una experiencia directa de la realidad, que trascienda no solo al pensamiento intelectual, sino también a la percepción sensorial. Según palabras de los *Upanishads*:

> Lo que es inaudible, impalpable, sin forma, perecedero, del mismo modo es insípido, permanente, inodoro, sin principio ni fin, más alto que lo más grande, firme. Al percibir eso, uno queda liberado de las fauces de la muerte[3].

El conocimiento que se obtiene con una experiencia así es llamado por los budistas «conocimiento absoluto» porque no se basa en las discriminaciones, en las abstracciones y clasificaciones del intelecto, las cuales, como ya hemos visto, son siempre relativas y aproximadas. Es, según nos dicen los budistas, la experiencia directa de la «eseidad» indiferenciada, individida e indeterminada. La completa asimilación de esa eseidad no solo constituye el centro del misticismo oriental, sino que es la característica central de toda la experiencia mística.

Los místicos orientales insisten una y otra vez en el hecho de que la realidad última nunca podrá ser objeto de razonamiento ni de conocimiento demostrable. Nunca podrá ser adecuadamente descrita en palabras, porque está más allá del reino de los sentidos y del intelecto, del que se derivan todas nuestras palabras y conceptos. Acerca de esto dicen los *Upanishads*:

> Allí no llega el ojo.
> No va la palabra, ni la mente.
> No lo conocemos, no lo entendemos.
> ¿Cómo podría uno enseñarlo[4]?

Lao Tse, quien llama a esta realidad el *Tao*, afirma exactamente lo mismo en la línea inicial del *Tao Te King* «El *Tao* que puede ser expresado no es el *Tao* verdadero». El hecho —evidente si leemos los periódicos— de que la humanidad, a pesar del prodigioso incremento experimentado por el conocimiento racional, no se ha hecho mucho más sabia durante los últimos dos mil años constituye una clara evidencia de la imposibilidad de comunicar el conocimiento absoluto por medio de las palabras. Como dijo Chuang Tzu:

> Si fuera posible hablar de ello, todo el mundo se lo habría dicho a su hermano[5].

De este modo, el conocimiento absoluto constituye una experiencia de la realidad totalmente ajena al intelecto, una experiencia que surge de un estado no ordinario de conciencia, al que podríamos llamar estado «meditativo» o místico. La existencia de tal estado no solo ha sido atestiguada por numerosos místicos de Oriente y Occidente, sino que también la investigación psicológica da cuenta de ella. Estas son las palabras de William James al respecto:

> Nuestra conciencia normal de vigilia, que nosotros llamamos racional, no es más que un tipo especial de conciencia, y a su alrededor, separadas de ella por la más transparente de las películas, existen formas potenciales de conciencia totalmente diferentes[6].

Aunque los físicos se interesan principalmente en el conocimiento racional y los místicos en el intuitivo, ambos tipos se dan en los dos campos. Esto se hace evidente al examinar cómo se obtiene y cómo se expresa el conocimiento, tanto en la física como en el misticismo oriental.

En física, el conocimiento se obtiene a través del proceso de la investigación científica, que se realiza en tres etapas. La primera consiste en reunir evidencias experimentales acerca del fenómeno que se va a explicar. En la segunda etapa, los hechos experimentales se correlacionan con símbolos matemáticos y se resuelve un esquema matemático que interconecta estos símbolos de una manera precisa y congruente. A este esquema se le suele llamar modelo matemático o, si es más amplio, teoría. Esta teoría se emplea para predecir los resultados de experimentos posteriores, que se llevan a cabo a fin de comprobar todas las posibles implicaciones y consecuencias. En esta etapa, los físicos, si han hallado un esquema matemático y saben cómo emplearlo para predecir experimentos, pueden mostrarse satisfechos. Algunas veces, desean hablar sobre sus logros a quienes no son físicos; por lo tanto, tendrán que expresarlos en un lenguaje sencillo. Esto significa que tendrán que formular un modelo en lenguaje ordinario que interprete su esquema matemático. Incluso para los mismos físicos, la formulación de dicho modelo verbal, que constituye la tercera etapa de su investigación, será un criterio de la comprensión que han logrado.

En la práctica, estas tres etapas no están netamente separadas y no se dan siempre en el mismo orden. Por ejemplo, un físico puede ser conducido a un modelo particular por alguna creencia filosófica suya, en la cual puede continuar creyendo, incluso si el experimento evidencia lo contrario. A raíz de ello —y esto ocurre con mucha frecuencia— trata de modificar su modelo, para que dé cuenta de los nuevos experimentos. Pero si la evidencia experimental continúa contradiciendo al modelo, finalmente se verá obligado a abandonarlo.

Este modo de basar firmemente todas las teorías en la experimentación se conoce como método científico, y más adelante veremos que tiene su equivalente en la filosofía oriental. Sin embargo, la filosofía griega era totalmente diferente a este respecto. Aunque los filósofos griegos tuvieron ideas extremadamente ingeniosas sobre la naturaleza, que a veces se aproximan mucho a los modelos científicos modernos, la gran diferencia es la actitud totalmente empírica de la ciencia moderna, algo que por lo general era por completo ajeno a la mentalidad griega. Los griegos obtenían sus modelos de un modo deductivo, partiendo de algún axioma o principio fundamental y no inductivamente de lo que había sido observado. Por otro lado, el arte griego del razonamiento deductivo y lógico es, por supuesto, un ingrediente esencial en la segunda etapa de la investigación científica: la formulación de un modelo matemático congruente; y por ello, constituye una parte esencial de la ciencia.

El conocimiento racional y las actividades racionales conforman ciertamente la mayor parte de la investigación científica, pero no son todo lo que hay en ella. Esa parte racional de la investigación sería, de hecho, inútil si no estuviera complementada por la intuición, que es la que da a los científicos nuevas ideas y los hace más creativos. Estas ideas tienden a llegarles de repente, y generalmente no cuando se hallan sentados en su mesa de trabajo resolviendo ecuaciones, sino mientras están relajados en el baño, durante un paseo por el bosque, por la playa, etc. Durante esos períodos de relajación, después de una actividad intelectual concentrada, la mente intuitiva parece hacerse cargo de todo y es entonces cuando puede generar las repentinas y aclaradoras ideas que tanto placer y deleite aportan a la investigación científica.

Las percepciones intuitivas, sin embargo, no son de utilidad a la física a menos que puedan ser formuladas dentro de una estructura matemática congruente, complementada con su interpretación en lenguaje sencillo. Dentro de esta estructura la abstracción es un rasgo crucial. Consiste, como

mencionaba antes, en un sistema de conceptos y símbolos que conforman un mapa de la realidad. Este mapa representa solo algunos rasgos de esa realidad, sin que nosotros sepamos exactamente cuáles son, ya que comenzamos a trazar nuestro mapa de una forma gradual y sin ningún análisis crítico durante la niñez. De este modo, las palabras de nuestro lenguaje no están claramente definidas. Tienen varios significados, muchos de los cuales, cuando oímos la palabra en cuestión, nos pasan solo de una manera muy vaga por la mente, permaneciendo en su mayor parte en nuestro subconsciente.

Esta imprecisión y ambigüedad de nuestro lenguaje resultan algo esencial para los poetas, quienes generalmente trabajan con las capas y las asociaciones subconscientes. La ciencia, sin embargo, busca definiciones claras y conexiones libres de ambigüedades; por ello hace al lenguaje todavía más abstracto, limitando el significado de sus palabras y estandarizando su estructura, de acuerdo con las reglas de la lógica. La mayor abstracción es la que se da en las matemáticas, donde las palabras son sustituidas por símbolos y donde las operaciones de conexión entre dichos símbolos se hallan rigurosamente definidas. De este modo, los científicos pueden condensar en una sola línea de símbolos, en una ecuación, información que necesitaría varias páginas de escritura ordinaria para poder expresarse en palabras.

La idea de que las matemáticas no son más que un lenguaje extremadamente abstracto y comprimido afronta también sus retos. Muchos matemáticos creen que no son solo un lenguaje apto para describir la naturaleza, sino algo inherente a la naturaleza misma. Fue Pitágoras quien inició esta creencia con su famosa afirmación de que «todas las cosas son números», desarrollando un tipo muy especial de misticismo matemático. Así, la filosofía pitagórica introdujo el razonamiento lógico en el dominio de la religión, algo que, según Bertrand Russell, resultó decisivo para la filosofía religiosa occidental:

> La combinación de matemáticas y teología que comenzó con Pitágoras caracterizó a la filosofía religiosa de Grecia, de la Edad Media y de la época moderna hasta llegar a Kant […] en Platón, San Agustín, Tomás de Aquino, Espinoza y Leibniz, se da una íntima combinación de religión y razonamiento, de aspiración moral con admiración lógica de lo eterno, que procede de Pitágoras y que distingue la teología intelectualizada europea del más directo misticismo asiático[7].

El «más directo misticismo asiático», por supuesto, no adoptaría la pitagórica visión de las matemáticas. Desde la perspectiva oriental, esta disciplina, con su diferenciada y bien definida estructura, debe verse como una parte de nuestro mapa conceptual y no como un rasgo de la realidad misma. La realidad, tal como la han experimentado los místicos, es totalmente indeterminada e indiferenciada.

El método de abstracción científico es muy eficiente y poderoso, pero hemos de pagar un precio por él. A medida que definimos nuestro sistema de conceptos con mayor precisión, a medida que lo perfeccionamos y hacemos sus conexiones cada vez más rigurosas, este sistema se va separando cada vez más del mundo real. Usando de nuevo la analogía del mapa y del territorio de Korzybski, podríamos decir que el lenguaje ordinario es un mapa que, debido a su intrínseca imprecisión, tiene una cierta flexibilidad que hasta cierto punto le permite seguir el perfil curvado del territorio. Cuando lo vamos haciendo más riguroso, esa flexibilidad va desapareciendo gradualmente y con el lenguaje de las matemáticas hemos alcanzado un punto en el que los lazos con la realidad son tan tenues que la relación de sus símbolos con nuestra experiencia sensorial ha dejado ya de ser evidente. Este es el motivo por el que hemos de complementar nuestros modelos y nuestras teorías matemáticas con interpretaciones verbales, empleando de nuevo conceptos que puedan ser comprendidos de un modo intuitivo, pero que son ligeramente ambiguos e imprecisos.

Es importante captar la diferencia existente entre los modelos matemáticos y sus equivalentes verbales. Los primeros son rigurosos y congruentes en cuanto a su estructura interna, pero sus símbolos no tienen relación directa con nuestra experiencia. Los modelos verbales, por el contrario, utilizan conceptos que pueden entenderse de manera intuitiva, pero siempre serán inexactos y ambiguos. En este aspecto no se diferencian de los modelos filosóficos de la realidad y, por ello, pueden compararse muy bien.

Si existe un elemento intuitivo en la ciencia, también se da un elemento racional en el misticismo oriental. Sin embargo, el grado en que razón y lógica se acentúan varía enormemente de una escuela a otra. Las escuelas Vedanta hindú o budista Madhyamika, por ejemplo, son altamente intelectuales, mientras que los taoístas siempre han sentido una profunda desconfianza hacia todo lo que sea razón y lógica. El zen, que nació del budismo pero fue muy influenciado por el taoísmo, se enorgullece de ser «sin palabras, sin explicaciones, sin instrucciones y sin conocimiento». Se concentra casi por completo en la experiencia de la iluminación y muestra un

interés muy marginal en la interpretación de dicha experiencia. Una conocida frase zen dice: «En el instante en que se habla de una cosa, se yerra el blanco».

Aunque dentro del misticismo oriental existen escuelas menos extremas, la experiencia mística directa constituye el núcleo de todas ellas. Incluso los místicos que se dedican a la más sofisticada argumentación nunca consideran que el intelecto es su fuente de conocimiento, sino que meramente lo utilizan para analizar e interpretar su experiencia mística personal. Todo conocimiento está firmemente basado en esa experiencia, lo cual confiere a las tradiciones orientales un fuerte carácter empírico, que siempre es resaltado por sus proponentes. D. T. Suzuki, por ejemplo, escribe sobre el budismo:

> La experiencia personal es […] el fundamento de la filosofía budista. En este sentido el budismo es el empirismo o experimentalismo más radical; cualquier dialéctica posteriormente desarrollada lo será tan solo para demostrar la experiencia de la iluminación[8].

Joseph Needham señala repetidamente la empírica actitud de los taoístas en su obra *Science and Civilization in China* y descubre que esta actitud ha convertido el taoísmo en la base de la ciencia y la tecnología chinas. Según él:

> Los primitivos filósofos taoístas se retiraron a la soledad, a los bosques y a las montañas, para meditar allí sobre el orden de la naturaleza y observar sus innumerables manifestaciones[9].

Este mismo espíritu es el que se refleja en estos versos zen:

> Quien desee comprender el significado de la naturaleza de Buda deberá observar la estación y las relaciones causales[10].

En el misticismo oriental, el conocimiento está firmemente basado en la experiencia, lo cual sugiere un paralelismo con el conocimiento científico, que también se encuentra firmemente basado en la experimentación. Este paralelismo se cumple además por la propia naturaleza de la experiencia mística. En las tradiciones orientales se la describe como una percepción directa, que cae totalmente fuera del mundo del intelecto y que se logra, más

que pensando, mirando, mirando dentro de uno mismo, mediante la observación.

En el taoísmo, esta idea de la observación está materializada en el nombre de los templos taoístas *kuan*, que originalmente significaba «mirar». Así, los taoístas consideraban sus templos lugares de observación. En el budismo Ch'an, versión china del zen, la iluminación es citada como «la visión del *Tao*» y en todas las escuelas budistas se considera el ver la base del saber. El primer punto del Óctuple Camino —normas de Buda para lograr la autorrealización— es bien ver, seguido de bien saber. D. T. Suzuki escribe sobre esto:

> En la epistemología budista el ver desempeña un papel muy importante, pues constituye la base del saber. Sin ver es imposible saber; todo conocimiento tiene su origen en la visión. Por ello saber y ver se suelen encontrar unidos en la enseñanza del Buda. Por consiguiente, la filosofía budista indica ver la realidad tal como es. Ver es experimentar la iluminación[11].

Este pasaje me recuerda al del místico yaqui don Juan, quien dice:

> Lo que yo prefiero es ver […] porque solo viendo puede un hombre de conocimiento saber[12].

Aquí debo añadir unas palabras de advertencia. Este énfasis sobre la visión que se observa en las diferentes tradiciones místicas no debe tomarse en un sentido demasiado literal, sino que más bien debería entenderse en un sentido metafórico, puesto que la experiencia mística de la realidad es esencialmente una experiencia asensorial. Cuando los místicos orientales hablan de «ver», se refieren a un modo de percepción que tal vez incluya la captación visual, pero que esencialmente siempre la trasciende, convirtiéndose en una experiencia no sensorial de la realidad. Lo que ellos resaltan, sin embargo, al hablar de ver, mirar u observar, es el carácter empírico de su conocimiento. Este enfoque empírico de la filosofía oriental nos recuerda mucho el énfasis que la ciencia pone en la observación y nos sugiere un esquema para nuestra comparación. La etapa experimental de la investigación científica parece corresponderse con la percepción directa del místico oriental y los modelos y teorías científicos se corresponderían con los diversos modos en que esa percepción es interpretada.

Teniendo en cuenta la gran diferencia existente entre las naturalezas de estos dos actos de observación, este paralelismo entre el experimento científico y la experiencia mística puede parecer sorprendente. Los físicos realizan experimentos que implican un elaborado trabajo de equipo y una tecnología altamente sofisticada, mientras que los místicos obtienen su conocimiento simplemente a través de la introspección, sin maquinaria de ningún tipo y en la privacidad de su meditación. Además, los experimentos científicos son susceptibles de ser repetidos en cualquier momento y por cualquier persona, mientras que las experiencias místicas parecen estar reservadas a unos pocos individuos y a ocasiones muy especiales. Un examen más minucioso muestra, sin embargo, que la diferencia entre ambos tipos de observación radica solo en su enfoque y no en su complejidad ni en su confiabilidad.

Quien desee repetir un experimento de física subatómica tendrá que pasar antes muchos años de estudio, entrenamiento y preparación. Solo entonces podrá hacer una pregunta concreta a la naturaleza a través del experimento y comprender la respuesta. De manera similar, la experiencia mística requiere generalmente muchos años de entrenamiento bajo la dirección de un maestro experto y, al igual que ocurre en el experimento científico, el tiempo dedicado no garantiza por sí solo el éxito. No obstante, si el estudiante tiene éxito, podrá «repetir el experimento». De hecho, la repetición de la experiencia es básica en el entrenamiento místico y constituye la meta de toda instrucción mística.

Una experiencia mística, por lo tanto, no es algo más único que un moderno experimento de física. Por otro lado, tampoco es menos sofisticada, aunque lo sea de un modo diferente. La complejidad y la eficiencia de los aparatos técnicos del físico se ven igualadas, si no superadas, por la conciencia del místico —tanto física como espiritual— en la meditación profunda. Así, tanto científicos como místicos han desarrollado métodos de observación de la naturaleza altamente sofisticados, inaccesibles a los profanos. Una página de una revista sobre física experimental será tan misteriosa para el no iniciado como un mandala tibetano. Ambos son registros de investigaciones sobre la naturaleza del universo.

Aunque en general las experiencias místicas no ocurren sin una larga preparación, todos experimentamos en nuestra vida diaria percepciones intuitivas directas. Todos hemos vivido una situación en la que hemos olvidado el nombre de alguna persona o de algún lugar o cualquier otra cosa y no somos capaces de recordarlo pese a la más absoluta concentración. Lo

tenemos «en la punta de la lengua», pero no nos sale, hasta que abandonamos y llevamos nuestra atención a otra cosa, cuando de repente, de un modo instantáneo, recordamos el nombre olvidado. En este proceso no interviene ningún pensamiento. Es una percepción repentina, inmediata. Este ejemplo sobre el recuerdo repentino está muy relacionado con el budismo, que mantiene que nuestra naturaleza original es la del Buda iluminado y que, simplemente, lo hemos olvidado. A los estudiantes de budismo zen se les pide que descubran «su rostro original», y la iluminación es el recuerdo «súbito» de ese rostro.

Otro ejemplo bien conocido de percepciones intuitivas espontáneas son los chistes. En esa fracción de segundo en la que entendemos un chiste, experimentamos un momento de «iluminación». Es bien sabido que ese momento debe llegar de modo espontáneo, no puede alcanzarse explicando el chiste ni mediante un análisis intelectual. Solo gracias a una súbita percepción intuitiva de la naturaleza del chiste experimentaremos la risa liberadora que este pretende generar. La similitud existente entre la percepción espiritual intuitiva y la comprensión de un chiste debe de ser algo muy conocido por los hombres y mujeres iluminados, pues casi invariablemente todos ellos muestran un gran sentido del humor. Especialmente el zen está lleno de anécdotas e historias divertidas, y en el *Tao Te King* leemos:

> Si no se rieran de él, no sería el Tao[13].

En nuestra vida diaria, las percepciones intuitivas directas de la naturaleza de las cosas están normalmente limitadas a momentos muy breves. No así en el misticismo oriental, donde se extienden a largos períodos y finalmente se convierten en una conciencia permanente. La preparación de la mente para esa conciencia —para una conciencia inmediata y no conceptual de la realidad— constituye la principal finalidad de todas las escuelas de misticismo orientales y, en muchos aspectos, de la propia forma de vida oriental. Durante la larga historia cultural de la India, de China y de Japón, se han desarrollado una enorme variedad de técnicas, de rituales y de formas artísticas tendentes a alcanzar dicha meta. A todos ellos se los puede llamar meditación, en el más puro sentido de la palabra.



La intención básica de todas estas técnicas parece ser la de silenciar la mente pensante y trasladar la conciencia del modo racional al intuitivo. En muchas formas de meditación, ese silencio de la mente racional se logra concentrando la atención en un solo detalle, como la respiración, el sonido de un mantra o la imagen visual de un mandala. Otras escuelas enfocan su atención en los movimientos del cuerpo, que deberán realizarse de un modo espontáneo, sin la interferencia de ningún pensamiento. Esta es la manera del yoga hindú y

del *T'ai Chi Ch'uan* taoísta. Estos movimientos rítmicos pueden conducir a la misma sensación de paz y serenidad que caracteriza a otras formas más estáticas de meditación, sensación que también puede ser provocada por algunos deportes. Para mí, por ejemplo, esquiar es una forma de meditación altamente gratificante.

Las formas de arte orientales son también modos de meditación. No son tanto medios de expresión de las ideas del artista como posibilidades de autorrealización mediante el desarrollo del modo de conciencia intuitivo. La música india no se aprende leyendo notas, sino escuchando tocar al maestro y desarrollando así el sentido musical, del mismo modo que los movimientos del *T'ai Chi* no se aprenden con instrucciones verbales, sino realizándolos una y otra vez, al unísono con el maestro. Las ceremonias de té japonesas están llenas de acciones lentas y rituales. La caligrafía china requiere de un movimiento de la mano desinhibido y espontáneo. Todas estas habilidades son utilizadas en Oriente para desarrollar el modo de conciencia meditativo.

Para la mayoría de las personas, especialmente para los intelectuales, este modo de conciencia constituye una experiencia totalmente nueva. Los científicos conocen las percepciones intuitivas directas de su investigación, pues todo nuevo descubrimiento se origina en uno de esos *flashes* repentinos y no verbales. Pero estos son momentos extremadamente cortos, que surgen cuando la mente se encuentra llena de información, de conceptos y de patrones de pensamiento. En la meditación, por el contrario, la mente se ha vaciado de pensamientos y conceptos, preparándose así para funcionar durante largos períodos de modo intuitivo. De este contraste entre investigación y meditación es de lo que habla Lao Tse cuando dice:

> Quien busque aprender aumentará cada día.
> Quien busque el Tao disminuirá cada día[14].

Una vez la mente racional ha sido silenciada, el modo intuitivo genera una conciencia extraordinaria. El entorno se experimenta de una forma directa, sin ser filtrado por el pensamiento conceptual. En palabras de Chuang Tzu:

> La mente calmada del sabio es un espejo donde se reflejan el cielo y la tierra —es el reflejo de todas las cosas[15].

Esta experiencia de unidad con el entorno constituye la característica principal del estado meditativo. Es un estado de conciencia en el que toda

forma de fragmentación cesa, fundiéndose en una unidad indiferenciada.

En la meditación profunda, la mente permanece totalmente alerta. Además de la percepción asensorial de la realidad, capta también todos los sonidos, imágenes y otras impresiones del entorno, pero no se aferra a las imágenes sensoriales para analizarlas o interpretarlas. No les permite que distraigan su atención. Este estado de conciencia no difiere del estado mental de un guerrero que, extremadamente alerta, espera un ataque, registrando todo cuanto sucede a su alrededor pero sin permitir que lo distraiga ni un solo instante. El maestro zen Yasutani Roshi se sirve de esta imagen en su descripción del *shikan-taza*, la práctica de la meditación zen:

> *Shikan-taza* es un elevado estado de conciencia concentrada, en el que no se siente tensión ni prisa, ni por supuesto pereza. Es la mente de quien se enfrenta a la muerte. Imagina que te ves involucrado en un duelo al estilo de los que tenían lugar antiguamente en Japón. Encaras a tu oponente vigilante, dispuesto y preparado. Si relajases tu vigilancia tan solo un instante, serías instantáneamente segado. Una multitud se agolpa para ver la pelea. Como no eres ciego, los ves con el rabillo del ojo, y puesto que no eres sordo, los oyes. Pero ni tan siquiera un momento se ve mi atención atrapada por estas impresiones sensoriales[16].

A causa de la similitud existente entre el estado meditativo y el estado mental del guerrero, la imagen del guerrero desempeña un importante papel en la vida espiritual y cultural de Oriente. La escena donde se desarrolla el texto religioso favorito de la India, el *Bhagavad Gita*, es un campo de batalla, y las artes marciales desempeñan un importante papel en las culturas tradicionales de China y Japón. En Japón, la fuerte influencia del zen en la tradición del samurái originó lo que se conoce como *bushido*, «el camino del guerrero», un arte de esgrima en el que la percepción espiritual del participante alcanza la perfección más elevada. El *T'ai Chi Ch'uan* taoísta, que fue considerado en China el arte marcial supremo, combina de un modo único los lentos y rítmicos movimientos «yóguicos» con la total alerta mental del guerrero.

El misticismo oriental está basado en la percepción directa de la naturaleza de la realidad y la física se fundamenta en la observación de los fenómenos naturales que tienen lugar en los experimentos científicos. En ambos campos, las observaciones son después interpretadas y esa

interpretación, con frecuencia, se comunica por medio de palabras. Dado que las palabras son siempre un mapa abstracto y aproximado de la realidad, las interpretaciones verbales de un experimento científico o de una percepción mística serán necesariamente imprecisas e incompletas. Tanto los físicos modernos como los místicos orientales son conscientes de este hecho.

En física, a esas interpretaciones de los experimentos se las llama modelos o teorías y la aceptación de que todos los modelos y teorías son aproximados es algo básico en la investigación científica moderna. De ahí la frase de Einstein: «En lo que las leyes matemáticas se refieren a la realidad, no son ciertas; y en lo que son ciertas, no se refieren a la realidad». Los físicos son conscientes de que sus métodos de análisis y de razonamiento lógico nunca podrán explicar la totalidad de los fenómenos naturales en su conjunto; por eso eligen un cierto grupo de fenómenos y tratan de construir un modelo que les permita describir ese grupo. Al hacer esto, descuidan otros fenómenos y por ello su modelo no proporcionará una descripción completa de la situación real. Los fenómenos que no han sido tomados en cuenta pueden tener un efecto tan pequeño que su inclusión no alteraría significativamente la teoría, o tal vez se los omite simplemente porque en el momento de establecer la teoría no son conocidos.

Para ilustrar estos puntos, vamos a considerar uno de los modelos más conocidos en física: la mecánica «clásica» de Newton. Los efectos de la resistencia o fricción del aire, por ejemplo, en este modelo no se tienen en cuenta, pues generalmente son muy pequeños. Pero, aparte de tales omisiones, la mecánica newtoniana fue durante mucho tiempo considerada la teoría definitiva para describir todos los fenómenos naturales, hasta que se descubrieron los fenómenos eléctricos y magnéticos, no contemplados en la teoría de Newton. Este descubrimiento mostró que el modelo era incompleto y que solo se podía aplicar a un limitado número de fenómenos, esencialmente al movimiento de los cuerpos sólidos.

Estudiar un grupo limitado de fenómenos puede también significar estudiar sus propiedades físicas solo en una escala limitada, y esto constituiría otra razón por la cual la teoría es aproximada. Este aspecto de la aproximación es bastante sutil, puesto que nunca sabremos de antemano dónde radican las limitaciones de una teoría. Solo la experiencia podrá mostrarlas. De este modo, la imagen de la mecánica clásica se vio todavía más erosionada cuando la física del siglo XX mostró sus limitaciones esenciales. Hoy sabemos que el modelo newtoniano es solo válido para objetos compuestos por un elevado número de átomos y únicamente para

velocidades muy pequeñas comparadas con la velocidad de la luz. Cuando no se da la primera condición, la mecánica clásica ha de sustituirse por la teoría cuántica; cuando no se satisface la segunda condición, ha de aplicarse la teoría de la relatividad. Ello no significa que el modelo de Newton esté «equivocado», o que la teoría cuántica y la teoría de la relatividad tengan «razón». Todos estos modelos son aproximaciones, válidas solo para una cierta gama de fenómenos. Más allá de esa gama, su descripción de la naturaleza ya no es satisfactoria y se hace necesario hallar nuevos modelos que sustituyan a los viejos, o mejor, que los amplíen, incrementando la aproximación.

Especificar las limitaciones de un modelo dado en el momento de su construcción es a menudo una de las tareas más difíciles y más importantes. Según Geoffrey Chew, cuya teoría de la «tira de bota» examinaremos más adelante, es esencial preguntarse tan pronto como un modelo o teoría se ponga a funcionar por qué funciona, cuáles son sus límites y qué tipo de aproximación significa exactamente. Según él, estas preguntas constituyen el primer paso hacia futuros progresos.

Los místicos orientales, a su vez, son también conscientes del hecho de que toda descripción verbal de la realidad es imprecisa e incompleta. La experiencia directa de la realidad trasciende los reinos del pensamiento y del lenguaje y dado que todo el misticismo se basa en dicha experiencia directa, cualquier cosa que pueda decirse sobre ella será solo parcialmente cierta. En física la naturaleza aproximada de todas las afirmaciones es cuantificada y el progreso se realiza aumentando la aproximación en muchos pasos sucesivos. ¿Cómo abordan entonces las tradiciones orientales el problema de la comunicación verbal?

Por un lado, el interés principal de los místicos lo constituye la experiencia de la realidad y no la descripción de esa experiencia. Por ello, en general no existe un marcado interés en el análisis de dicha descripción y así, el concepto de una aproximación bien definida nunca surgió en el pensamiento oriental. Por otro lado, cuando estos místicos orientales desean comunicar su experiencia se enfrentan a serias limitaciones de lenguaje. En Oriente se han desarrollado diferentes modos de abordar este problema.

El hinduismo y en particular el misticismo hindú revisten sus descripciones bajo la forma de mitos, empleando metáforas y símbolos, imágenes poéticas, símiles y alegorías. El lenguaje mítico se ve menos restringido por la lógica y el sentido común. Se muestra lleno de magia y de situaciones paradójicas, ricas en imágenes sugestivas, nunca precisas, que

permiten transmitir el modo en que los místicos experimentan la realidad mucho mejor que el lenguaje de los hechos concretos. Según Ananda Coomaraswamy:

> El mito encarna el más aproximado enfoque de la verdad absoluta que pueda darse con palabras[17].

La rica imaginación hindú ha creado un gran número de dioses y diosas, cuyas encarnaciones y hazañas son relatadas en fantásticas historias, recopiladas en epopeyas de enormes dimensiones. El hindú de percepción profunda sabe que todos esos dioses son creaciones de la mente, imágenes míticas que representan las muchas caras de la realidad. Por otro lado, también sabe que no fueron creados meramente para hacer las historias más atractivas, sino que son vehículos esenciales para la transmisión de las doctrinas de una filosofía basada en la experiencia mística.

Los místicos chinos y japoneses encontraron una forma diferente de abordar el problema del lenguaje. En lugar de aderezar la naturaleza paradójica de la realidad mediante símbolos e imágenes mitológicas, generalmente prefieren acentuarla, utilizando un lenguaje objetivo. Así, los taoístas hacen frecuente uso de afirmaciones absurdas, a fin de exponer las incongruencias que surgen de la comunicación verbal y al mismo tiempo mostrar sus límites. Pasaron esta técnica a los budistas chinos y japoneses, quienes todavía la desarrollaron más. Su punto más alto se ha alcanzado en el budismo zen, con los *koans*, absurdas adivinanzas que muchos maestros zen utilizan para transmitir las enseñanzas. Estos *koans* presentan un importante paralelismo con la física moderna, del cual trataremos en el siguiente capítulo.

En Japón existe todavía otro medio de expresar los conceptos filosóficos que debe también mencionarse. Es una forma especial de poesía extremadamente concisa, usada con frecuencia por los maestros zen para señalar de forma directa hacia la esencia de la «realidad». Cuando un monje preguntó a Fuketsu Ensho: «Cuando no puede utilizarse la palabra ni el silencio, ¿cómo evitamos el error?», el maestro respondió:

> Siempre recuerdo a Kiangsu en marzo.
> El canto de la perdiz, la abundancia de flores olorosas[18].

Esta forma de poesía espiritual alcanzó su perfección en el haiku —versos clásicos japoneses de tan solo diecisiete sílabas—, que se vio profundamente

influenciado por el zen. La profunda percepción de la naturaleza de la vida alcanzada por estos poetas de haikus se hace evidente incluso en su traducción al castellano:

> Hojas cayendo,
> una yace junto a la otra.
> La lluvia rocía a la lluvia[19].

Cuando los místicos orientales expresan su conocimiento mediante palabras —ya sea sirviéndose de mitos, de imágenes poéticas o de afirmaciones absurdas—, son siempre conscientes de las limitaciones impuestas por el lenguaje y por el pensamiento «lineal». Los físicos modernos han llegado a adoptar exactamente la misma actitud en relación con sus modelos verbales y sus teorías, las cuales son también solo aproximadas y forzosamente inexactas. Constituyen el equivalente de los mitos orientales, de los símbolos y de las imágenes poéticas, y es en ese nivel donde voy a examinar los paralelismos. Una misma idea sobre la materia es transmitida, por ejemplo, a un hindú mediante la danza cósmica del dios Shiva y a los físicos a través de ciertos aspectos de la teoría del campo cuántico. Ambos, el dios danzante y la teoría física, son creaciones de la mente: modelos que describen la intuición de sus autores sobre la realidad.

3

MÁS ALLÁ DEL LENGUAJE

> Esta contradicción tan enigmática para el pensamiento usual procede del hecho de que nos vemos obligados a usar el lenguaje para comunicar una experiencia íntima, cuya propia naturaleza trasciende con mucho el campo de la lingüística.
>
> D. T. SUZUKI

> Aquí los problemas del lenguaje son realmente serios. Deseamos hablar de la estructura de los átomos […] Pero no podemos hablar de los átomos en el idioma corriente.
>
> W. HEISENBERG

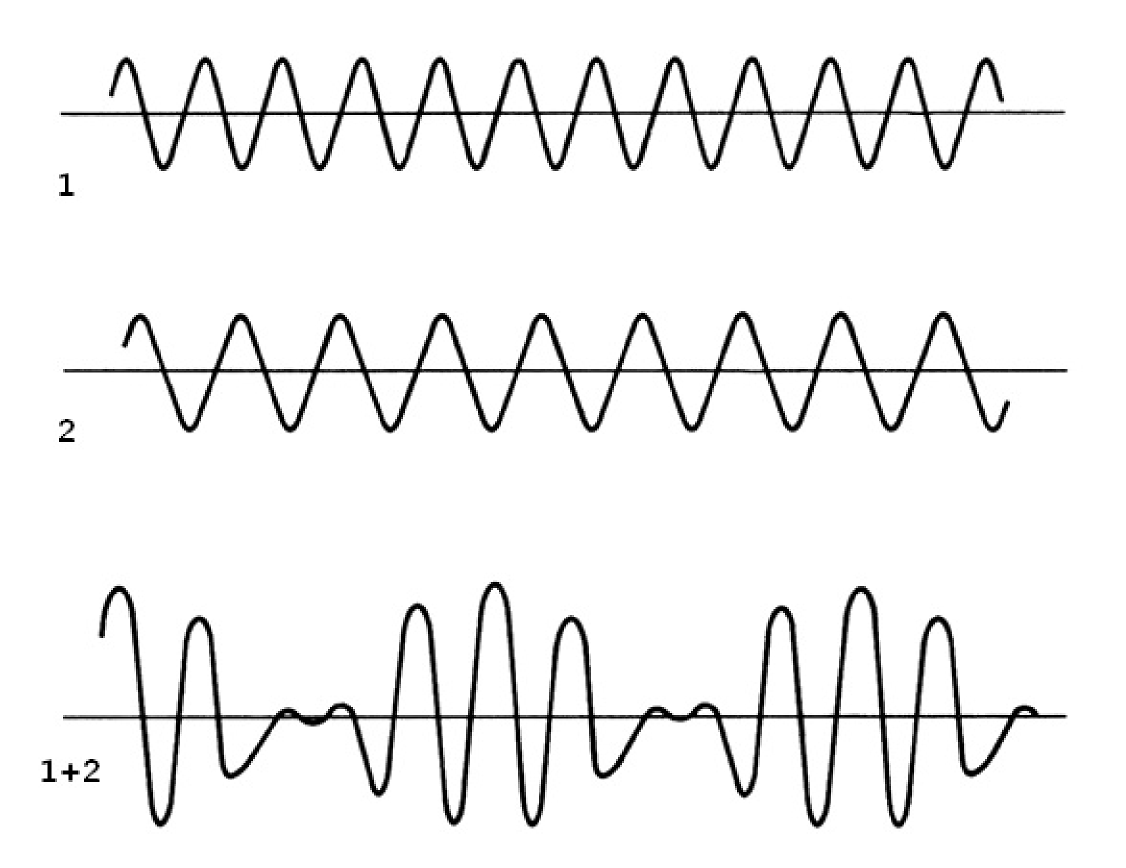
El hecho de que todas las teorías y modelos científicos son aproximados y de que sus interpretaciones verbales son siempre inadecuadas debido a la inexactitud de nuestro lenguaje fue ya aceptado por los científicos a comienzos del siglo pasado, cuando tuvo lugar una nueva e inesperada evolución de la ciencia. El estudio del mundo atómico obligó a los físicos a admitir que nuestro lenguaje común no solo es impreciso, sino totalmente inadecuado para describir las realidades atómica y subatómica. La teoría cuántica y la teoría de la relatividad, bases ambas de la física moderna, han puesto de manifiesto que esta realidad trasciende la lógica clásica y que no se puede hablar de ella en el idioma corriente. Por eso escribía Heisenberg:

> El problema más difícil […] en relación con el uso del lenguaje surge en la teoría cuántica. En primer lugar nos encontramos con que no

> tenemos ni una sola guía que nos permita correlacionar los símbolos matemáticos con conceptos del lenguaje ordinario, y lo único que sabemos desde un principio es el hecho de que nuestros conceptos comunes no pueden aplicarse a la estructura de los átomos[1].

Desde un punto de vista filosófico, esta ha sido sin duda la más interesante evolución de la física moderna, constituyendo una de las raíces de su relación con la filosofía oriental. En las escuelas de la filosofía occidental, la lógica y el razonamiento han sido siempre las principales herramientas utilizadas en la formulación de las ideas filosóficas, y según Bertrand Russell esto es cierto incluso en las filosofías religiosas. Sin embargo, en el misticismo oriental siempre se ha admitido el hecho de que la realidad trasciende al lenguaje ordinario y, así, los sabios orientales nunca tuvieron miedo de ir más allá de la lógica y de los conceptos comunes. En mi opinión, esta es la principal razón por la que sus modelos de la realidad constituyen una base filosófica más aproximada a la física moderna que los modelos de la filosofía occidental.

Los problemas de lenguaje con que se encontraron los místicos orientales son exactamente los mismos con los que se enfrentan hoy los físicos modernos. En los dos pasajes citados al principio de este capítulo, D. T. Suzuki habla del budismo[2] y Werner Heisenberg, de la física atómica[3]; sin embargo, ambos textos son casi idénticos. Tanto el físico como el místico desean comunicar su conocimiento y cuando lo hacen con palabras sus afirmaciones resultan absurdas y están llenas de contradicciones lógicas. Estos absurdos son característicos de todo misticismo, desde Heráclito hasta don Juan, y ahora, desde principios del siglo XX, lo son también de la física.



Interferencia de dos ondas.

En la física atómica, muchas de las situaciones absurdas o paradójicas están relacionadas con la naturaleza dual de la luz o, en un sentido más general, de las radiaciones electromagnéticas. Por un lado, es evidente que esta radiación debe consistir en ondas, pues genera los bien conocidos fenómenos de interferencia producidos por las ondas: cuando hay dos fuentes de luz, la intensidad de la luz resultante no es necesariamente la suma de la emitida por las dos fuentes, sino que en diferentes lugares puede ser mayor o menor. Esto se explica por las interferencias de las ondas que emanan de ambas fuentes: en los lugares donde coincidan dos crestas tendremos más luz que en la suma de las dos; donde coincidan una cresta y un seno, tendremos menos. La cantidad exacta de interferencia puede ser fácilmente calculada. Este tipo de fenómenos de interferencia se pueden observar siempre que se trabaje con radiaciones electromagnéticas, lo cual nos obliga a concluir que estas radiaciones se componen de ondas.

Por otro lado, la radiación electromagnética también produce el llamado «efecto fotoeléctrico»: cuando la luz ultravioleta es proyectada sobre algunos metales, puede desprender electrones de la superficie del metal; por lo tanto debe de estar compuesta por partículas en movimiento. Algo similar ocurre en los experimentos de «dispersión» de los rayos X. Tales experimentos solo se

pueden interpretar correctamente como colisiones de «partículas luminosas» con electrones. Y aun así, muestran los patrones de interferencia característicos de las ondas. La cuestión que tanto maravillaba a los físicos en las primeras etapas de la teoría atómica era cómo la radiación electromagnética podía estar compuesta de partículas —es decir, de entes confinados en un volumen pequeñísimo— y al mismo tiempo de ondas, que son esparcidas sobre un área amplia de espacio. Ni el lenguaje ni la imaginación podían lidiar muy bien con este tipo de realidad.

El misticismo oriental ha desarrollado varias formas de tratar con los aspectos absurdos de la realidad. Mientras en el hinduismo son evitados mediante el uso del lenguaje mítico, el budismo y el taoísmo tienden a acentuar el absurdo, más que a ocultarlo. El principal escrito taoísta, el *Tao Te King*, de Lao Tse, está escrito en un estilo desconcertante, aparentemente ilógico. Está lleno de contradicciones intrigantes y su lenguaje compacto, potente y extremadamente poético pretende atraer el pensamiento del lector y sacarlo de los surcos usuales del pensamiento lógico.

Los budistas chinos y japoneses adoptaron esta técnica taoísta de comunicar la experiencia mística exponiendo simplemente su carácter absurdo. Cuando el maestro zen Daito vio al emperador Godaigo, que era estudiante de zen, dijo:

> Nos separamos hace muchos miles de *kalpas* y, sin embargo, no hemos estado separados ni un solo instante. Nos estamos viendo las caras uno al otro durante todo el día, y, sin embargo, todavía no nos hemos encontrado[4].

Los budistas zen tienen una particular destreza para aprovechar las inconsistencias de la comunicación verbal y con el sistema del *koan* han desarrollado una forma única de transmitir sus enseñanzas de un modo no verbal. Los *koans* son acertijos absurdos, cuidadosamente compuestos a fin de que el estudiante se dé cuenta de las limitaciones de la lógica y del razonamiento del modo más directo. Lo absurdo e irracional de estos acertijos hace que su resolución pensando sea imposible. Están precisamente diseñados para detener el proceso del pensamiento y, de este modo, preparar al estudiante para la experiencia no verbal de la realidad. El maestro zen contemporáneo Yasutani presentó a un estudiante occidental uno de los *koans* más famosos con las siguientes palabras:

> Uno de los mejores *koans*, porque es el más simple de todos ellos, es *Mu*. Esta es su historia: un monje fue hasta Joshu, famoso maestro zen que vivió hace cientos de años en China, y le preguntó: «¿Tiene un perro la naturaleza de Buda o no?»; Joshu replicó solamente: «*Mu*». Literalmente la expresión significa «no», pero el significado de la respuesta de Joshu no es ese. *Mu* es la expresión de la naturaleza viva, activa y dinámica de Buda. Lo que debes hacer es descubrir la esencia o el espíritu de este *Mu*, no a través del análisis intelectual, sino indagando en lo más profundo de tu ser. Entonces deberás demostrar ante mí, de un modo concreto y vívido, que comprendes *Mu* como una verdad viva, sin recurrir a conceptos, a teorías ni a explicaciones abstractas. Recuerda, no puedes entender *Mu* con el entendimiento ordinario, deberás captarlo directamente con todo tu ser[5].

A un principiante, el maestro zen normalmente le presentará este *koan Mu* o alguno de los dos siguientes:

> «¿Cuál era tu rostro original?, ¿el que tenías antes de nacer de tus padres?».

> «Aplaudiendo con las dos manos produces un sonido. ¿Qué sonido haces al aplaudir con una sola mano?».

Todos estos *koans* tienen más o menos soluciones únicas, que un maestro competente reconocerá inmediatamente. Una vez se ha hallado la solución, el *koan* deja de ser algo absurdo y se convierte en una afirmación profundamente significativa, surgida de un estado de conciencia que el propio *koan* ayudó a despertar.

En la escuela Rinzai, el estudiante tiene que resolver una larga serie de *koans*, cada uno de ellos relacionado con un aspecto particular del zen. Este es el único modo en que esta escuela transmite sus enseñanzas. No utiliza ningún tipo de afirmaciones positivas, sino que deja que el estudiante capte por sí mismo la verdad a través de los *koans*.

Aquí encontramos un asombroso paralelismo con las absurdas situaciones a las que se enfrentaron los físicos en los inicios de la física atómica. Al igual que en el zen, la verdad estaba oculta en absurdos que no podían resolverse con el razonamiento lógico, sino que debían comprenderse bajo los

parámetros de una nueva conciencia, la conciencia de la realidad atómica. El maestro en este caso era la naturaleza, la cual, del mismo modo que los maestros zen, no facilita ningún tipo de solución, sino solo los acertijos o adivinanzas que hay que resolver.

La solución de un *koan* exige un supremo esfuerzo de concentración y un involucramiento total por parte del estudiante. En los libros sobre zen leemos que el *koan* capta el corazón y la mente del estudiante, creando un callejón sin salida, un estado sostenido de tensión en el que la totalidad del mundo se convierte en una enorme masa de dudas y preguntas. Los fundadores de la teoría cuántica experimentaron exactamente lo mismo, situación descrita muy vívidamente por Heisenberg:

> Recuerdo las discusiones con Bohr, que se prolongaban durante muchas horas, hasta bien avanzada la noche, y que acababan casi en la desesperación. Y cuando al terminar la discusión me iba solo a dar un paseo por el vecino parque, me repetía a mí mismo una vez y otra la misma pregunta: ¿es posible que la naturaleza sea tan absurda como a nosotros nos lo parecía en aquellos experimentos atómicos[6]?

Cada vez que la naturaleza esencial de las cosas es analizada con el intelecto, debe parecer absurda o paradójica. Esto lo han reconocido los místicos desde siempre, pero muy recientemente se ha convertido en un problema para la ciencia. Durante siglos, los científicos estuvieron investigando las «leyes fundamentales de la naturaleza» que sirven de base a la gran variedad de fenómenos naturales. Estos fenómenos pertenecían al entorno microscópico de los científicos y, por ello, al mundo de su experiencia sensorial. Puesto que las imágenes y los conceptos intelectuales de su lenguaje procedían de esta misma experiencia, eran suficientes y adecuados para describir tales fenómenos naturales.

En la física clásica, las preguntas sobre la naturaleza esencial de las cosas eran respondidas por el modelo newtoniano y mecanicista del universo, el cual, del mismo modo que el modelo de Demócrito, en la antigua Grecia, redujo todos los fenómenos a movimientos e interacciones entre átomos duros e indestructibles. Las propiedades de estos átomos fueron abstraídas de la noción macroscópica de las bolas de billar y, por tanto, de la experiencia sensorial. El hecho de si estos conceptos se aplicarían realmente al mundo de

los átomos no fue entonces cuestionado y, desde luego, tampoco se podía investigar experimentalmente.

Sin embargo, llegado el siglo XX, los físicos fueron capaces de abordar ya de un modo experimental la cuestión de la naturaleza última de la materia. Con la ayuda de una tecnología sofisticada pudieron ahondar cada vez más en su investigación, descubriendo una capa de materia tras otra, en su búsqueda de los «ladrillos» iniciales. Así se verificó la existencia del átomo, luego se descubrieron sus componentes —el núcleo y los electrones— y finalmente se llegó a los componentes del núcleo —protones y neutrones—, así como también a muchas otras partículas subatómicas.

Los finos y complicados instrumentos de la moderna física experimental penetran profundamente en el mundo submicroscópico, en reinos de la naturaleza muy alejados de nuestro entorno macroscópico, haciendo ese mundo accesible a nuestros sentidos. Sin embargo, esto solo se logra a través de una cadena de procesos que terminan, por ejemplo, en el zumbido audible de un contador Geiger, o en una mancha oscura sobre una placa fotográfica. Lo que vemos u oímos nunca son los fenómenos investigados, sino siempre sus consecuencias. El mundo atómico y subatómico en sí mismo queda más allá de la percepción de nuestros sentidos.

Así, es con la ayuda del instrumental moderno como somos capaces de «observar» las propiedades de los átomos y sus componentes de un modo indirecto y de «experimentar» hasta cierto punto el mundo subatómico. Sin embargo, esta experiencia no es una experiencia ordinaria, comparable a la de nuestro entorno diario. El conocimiento de la materia a ese nivel ya no se deriva de la experiencia sensorial directa y, por ello, nuestro lenguaje ordinario, que toma sus imágenes del mundo de los sentidos, no es ya adecuado para describir los fenómenos observados. A medida que vamos penetrando más profundamente en la naturaleza, tenemos que abandonar también, cada vez más, las imágenes y los conceptos del lenguaje usual.

En este viaje hacia el mundo de lo infinitamente pequeño, el paso más importante, desde el punto de vista filosófico, fue el primero: la entrada al reino de los átomos. Al investigar el átomo por dentro y al examinar su estructura, la ciencia trascendía los límites de nuestra imaginación sensorial. A partir de ese momento, no pudo confiar ya con absoluta certeza en la lógica y en el buen sentido. La física atómica proporcionó a los físicos los primeros vislumbres sobre la naturaleza esencial de las cosas. Al igual que los místicos, los físicos se hallaron tratando con una experiencia no sensorial de la realidad y, como los místicos, tuvieron que hacer frente a los aspectos absurdos y

paradójicos de esta experiencia. Desde entonces, los modelos e imágenes de la física moderna se parecieron mucho a los utilizados por la filosofía oriental.

4

LA NUEVA FÍSICA

Según los místicos orientales, la experiencia directa y mística de la realidad es un suceso momentáneo que sacude violentamente los fundamentos de nuestra visión del mundo. D. T. Suzuki la llamó «el más sorprendente acontecimiento que jamás pudiera suceder en el reino de la conciencia humana […] que viene a alterar toda forma de experiencia estandarizada[1]» e ilustró el asombroso carácter de esta experiencia con las palabras de un maestro zen que la describió como «el fondo de un cubo roto».

Los físicos, al comienzo del siglo XX, sintieron algo parecido al ver que los fundamentos de su visión del mundo se tambaleaban ante la nueva experiencia de la realidad atómica y describieron esa experiencia en términos muy similares a los utilizados por el maestro zen de Suzuki. Así, escribía Heisenberg:

> Esta violenta reacción ante la evolución de la física moderna tan solo se podrá comprender advirtiendo que los fundamentos de la física han comenzado a moverse, y que ese movimiento ha causado la sensación de que la ciencia va a quedar separada de la tierra[2].

Einstein experimentó el mismo sobresalto, cuando por primera vez entró en contacto con la nueva realidad de la física atómica. Así escribió en su autobiografía:

> Todos los intentos que hice para adaptar el fundamento teórico de la física a este [nuevo tipo de] conocimiento fracasaron rotundamente. Era como si hubieran quitado la tierra de debajo de mis pies, sin dejarme ningún fundamento sólido sobre el cual poder construir[3].

Los descubrimientos de la física moderna exigían profundos cambios en conceptos como espacio, tiempo, materia, objeto, causa y efecto, etc., y dado que estos conceptos son totalmente básicos para nuestra manera de experimentar el mundo, no es sorprendente que los físicos que debían cambiarlos sufriesen algo parecido a una conmoción. De estos cambios surgió una visión del mundo radicalmente distinta y que todavía, a través de la actual investigación científica, está en proceso de formación.

Todo parece indicar que tanto los místicos orientales como los físicos occidentales pasaron por experiencias similares, que los llevaron a contemplar el mundo desde perspectivas totalmente diferentes y nuevas. En las dos citas siguientes, el físico europeo Niels Bohr y el místico hindú Sri Aurobindo manifiestan la profundidad y el carácter radical de esta experiencia:

> La gran tensión que hemos soportado durante los últimos años ha demostrado la insuficiencia de nuestras simples concepciones mecanicistas, y como consecuencia de ello, ha hecho que se tambaleen los cimientos sobre los que estaba basada la interpretación usual de nuestras observaciones[4].
>
> NIELS BOHR

> Todas las cosas comienzan de hecho a cambiar su naturaleza y su apariencia. Nuestra experiencia del mundo pasa a ser totalmente diferente […] Una nueva forma, vasta y profunda, de experimentar, de ver, de saber, de tomar contacto con las cosas[5].
>
> SRI AUROBINDO

El presente capítulo esbozará un cuadro preliminar de este nuevo concepto del mundo, en contraste con el de la física clásica[*], mostrando cómo la clásica visión mecanicista del mundo tuvo que ser abandonada a principios del siglo XX, cuando la teoría cuántica y la de la relatividad —las dos teorías básicas de la física moderna— nos obligaron a adoptar una visión mucho más «sutil» y orgánica de la naturaleza.

La física clásica

La visión del mundo que los descubrimientos de la física moderna vinieron a variar estaba basada en el modelo mecanicista del universo de Newton. Este modelo constituía el sólido armazón de la física clásica. Era un cimiento formidable que soportaba, como una firme roca, toda la estructura de la ciencia y que proporcionó una base sólida a la filosofía natural durante casi tres siglos.

El escenario del universo newtoniano, en el cual ocurrían todos los fenómenos físicos, era el espacio tridimensional de la geometría clásica euclidiana. Se trataba de un espacio absoluto, siempre en reposo e inmutable. En palabras de Newton, «el espacio absoluto, en su propia naturaleza, sin consideración a nada externo, permanece siempre igual e inamovible[6]». Todos los cambios que tienen lugar en el mundo físico fueron descritos en función de una dimensión aparte, llamada tiempo, que a su vez era absoluta, sin conexión con el mundo material y que fluía suavemente desde el pasado, pasando por el presente, hacia el futuro. «El tiempo absoluto, verdadero y matemático —decía Newton— en sí mismo y por su propia naturaleza, fluye de un modo uniforme, sin ser afectado por nada externo a él[7]».

Los elementos del mundo newtoniano que se movían en estos espacio y tiempo absolutos eran partículas materiales. En las ecuaciones matemáticas se los trataba como puntos de masa, y Newton los consideraba objetos pequeños, sólidos e indestructibles, de los cuales estaba compuesta la materia. Era un modelo bastante similar al de los atomistas griegos. Ambos se basaban en la distinción entre lo lleno y lo vacío, entre materia y espacio, y en ambos modelos las partículas permanecían siempre idénticas a sí mismas en cuanto a su masa y su forma. Por ello la materia siempre se conservaba y tenía un carácter esencialmente pasivo. La principal diferencia entre los sistemas atomistas de Demócrito y de Newton es que este último incluye una precisa descripción de la fuerza que actúa entre las partículas materiales. Esta fuerza es muy simple y depende solo de las masas y de las distancias mutuas entre las partículas. Se trata de la fuerza de la gravedad y Newton la consideró rígidamente relacionada con los cuerpos sobre los que actuaba a través de la distancia. Aunque era una hipótesis extraña, la verdad es que la investigación no se llevó más lejos. Tanto las partículas como las fuerzas existentes entre ellas se consideraban creadas por Dios y, por consiguiente, no eran sujeto de mayor análisis. En su óptica Newton nos presenta una clara imagen de cómo imaginaba él la creación del mundo material por parte de Dios:

> Me parece probable que Dios, en un principio, formase la materia en partículas sólidas, duras, impenetrables, móviles, con ciertos tamaños y formas y con otras propiedades —como su proporción en el espacio— tendentes en su mayoría a cumplir la finalidad para la cual fueron formadas. Siendo estas partículas sólidas, son incomparablemente más duras que cualquiera de los cuerpos porosos compuestos de ellas, de una dureza tal que incluso nunca se consumen ni se rompen en pedazos, no existiendo ningún poder que sea capaz de dividir lo que Dios, en su primera creación, hizo uno[8].

En la mecánica newtoniana todos los fenómenos físicos se reducen al movimiento de cuerpos materiales en el espacio, movimiento originado por su mutua atracción, esto es, por la fuerza de gravedad. Con el fin de representar el efecto de esta fuerza sobre un punto de masa, Newton tuvo que inventar técnicas y conceptos matemáticos completamente nuevos: los del cálculo diferencial. Ello supuso un logro intelectual tremendo y fue elogiado por Einstein como «quizá el mayor avance en el pensamiento que jamás un solo individuo haya tenido el privilegio de hacer».

Las ecuaciones del movimiento de Newton constituyen la base de la mecánica clásica. Fueron consideradas leyes fijas, que gobiernan el movimiento de los cuerpos materiales y, así, se creía que daban cuenta de todos los cambios observados en el mundo físico. Según el concepto de Newton, Dios creó, al principio, las partículas materiales, las fuerzas existentes entre ellas y las leyes fundamentales del movimiento. De este modo, todo el universo se puso en movimiento y así ha continuado desde entonces, gobernado por leyes inmutables, como una máquina.

Esta visión mecanicista de la naturaleza está por consiguiente estrechamente relacionada con un riguroso determinismo. La gigantesca maquinaria cósmica se consideraba algo totalmente causal y determinada. Todo lo que sucedía tenía una causa definida y originaba a su vez unos efectos definidos. El futuro de cualquier parte del sistema podía —en principio— ser predicho con absoluta certeza, siempre que su situación en un momento dado se conociera con todo detalle. Esta creencia está expresada muy claramente en las siguientes palabras del matemático francés Pierre Simon Laplace:

> La mente que en un momento dado conociera todas las fuerzas que actúan en la naturaleza y la posición de todas las cosas de las que se

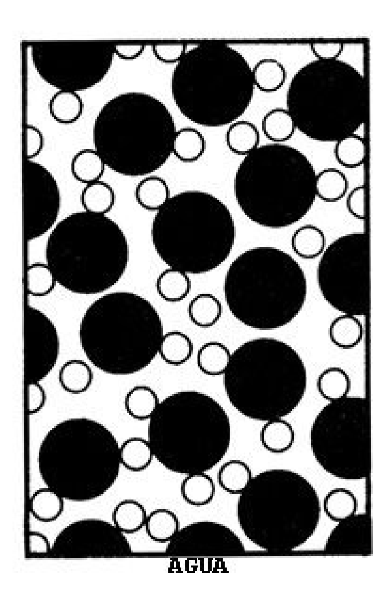
> compone el mundo —suponiendo que fuese lo suficientemente amplia como para poder analizar todos estos datos— abrazaría en una misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los de los átomos más pequeños. Nada sería incierto para ella, y el futuro, al igual que el pasado, estaría presente ante sus ojos[9].

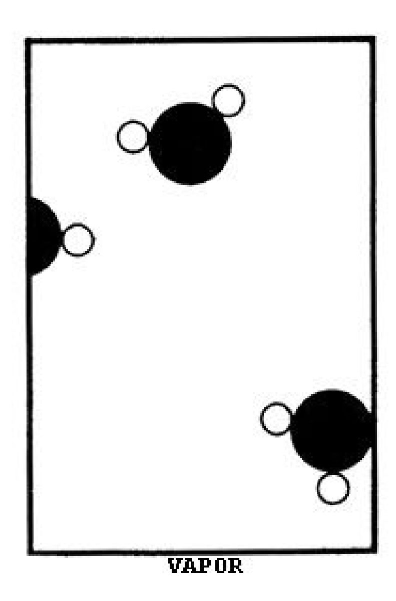
La base filosófica de este riguroso determinismo era la separación existente entre el «yo» y el mundo, introducida por Descartes. Como consecuencia de esta separación, se creía que el mundo podía describirse objetivamente, es decir, sin mencionar jamás al observador humano, y tal descripción objetiva de la naturaleza se convirtió en el ideal de toda la ciencia.

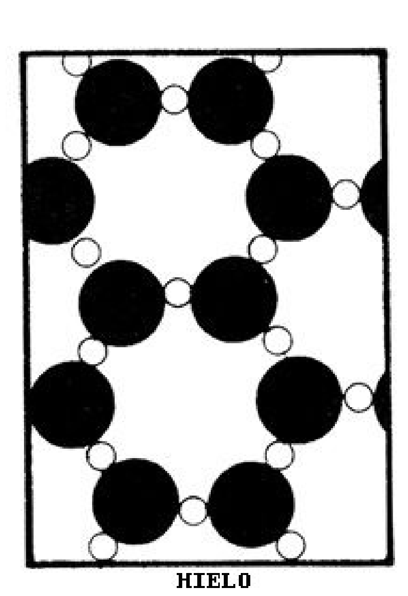
Los siglos XVII y XIX presenciaron un tremendo éxito de la mecánica newtoniana. El propio Newton aplicó su teoría al movimiento de los planetas y pudo explicar los rasgos básicos del sistema solar. Su modelo planetario era muy simplificado —no tenía en cuenta, por ejemplo, la influencia gravitacional de los planetas entre sí—, pero pese a ello descubrió que existían ciertas irregularidades que no podía explicar. Resolvió este problema asumiendo que Dios estaba siempre presente en el universo para corregir tales irregularidades.

El gran matemático Laplace se impuso a sí mismo la ambiciosa tarea de refinar y perfeccionar los cálculos de Newton en una obra que ofrecería una solución completa al gran problema mecánico presentado por el sistema solar, y haría coincidir tan exactamente la teoría con la observación de que las ecuaciones empíricas no figurarían ya jamás en las tablas astronómicas[10]. El resultado fue una gran obra en cinco volúmenes, llamada *Mecanique Céleste*, en la cual logró explicar los movimientos de los planetas, lunas y cometas hasta sus más pequeños detalles, así como el flujo de las mareas y otros fenómenos relacionados con la gravedad. Demostró que las leyes newtonianas relativas al movimiento aseguraban la estabilidad del sistema solar, tratando al universo como una máquina perfectamente autorregulada. Cuando presentó la primera edición de su obra a Napoleón —según cuenta la historia—, este le dijo: «*Monsieur* Laplace, me dicen que ha escrito usted esta enorme obra sobre el funcionamiento del universo, sin mencionar ni una sola vez a su Creador». A esto Laplace respondió tajante: «No he tenido necesidad de tal hipótesis».

Animados por el brillante éxito alcanzado en astronomía por la mecánica newtoniana, los físicos la extendieron al movimiento de los fluidos y a las vibraciones de los cuerpos elásticos, y una vez más funcionó. Por último, incluso la teoría del calor pudo ser reducida a mecánica, al descubrirse que el calor era la energía creada por un complicado movimiento «de agitación» de las moléculas. Cuando la temperatura —por ejemplo del agua— aumenta, el movimiento de sus moléculas se incrementa hasta llegar a sobrepasar las fuerzas que mantienen unidas a esas moléculas, y por ello se separan. De este modo, el agua se convierte en vapor. Por el contrario, cuando el movimiento térmico disminuye al enfriarse el agua, las moléculas se encierran dentro de un nuevo patrón mucho más rígido, que es el hielo. Del mismo modo, muchos otros fenómenos térmicos pueden comprenderse bastante bien desde un punto de vista puramente mecánico.


AGUA


VAPOR


HIELO

El enorme éxito logrado por el modelo mecanicista hizo creer a los físicos de principios del siglo XIX que el universo era un gigantesco sistema mecánico que funcionaba según las leyes newtonianas del movimiento. Estas leyes se consideraron las leyes básicas de la naturaleza, y la mecánica de Newton se convirtió en la teoría definitiva, que explicaba todos los fenómenos naturales. Y sin embargo, apenas cien años más tarde se descubriría una nueva realidad física que pondría de manifiesto las limitaciones del modelo newtoniano, demostrando que ninguna de sus características tenía validez absoluta.

Este convencimiento no llegó súbitamente, sino que fue iniciado por trabajos que ya habían comenzado en el siglo XIX y que prepararon el camino para las revoluciones científicas del XX. El primero de estos avances fue el descubrimiento y la investigación de los fenómenos eléctricos y magnéticos,

los cuales no podían ser apropiadamente descritos mediante el modelo mecánico y que implicaban la existencia de un nuevo tipo de fuerza. El paso más importante lo dieron Michael Faraday y Clerk Maxwell —el primero, uno de los más grandes experimentadores en la historia de la ciencia; el segundo, un brillante teórico—. Cuando Faraday logró producir una corriente eléctrica en una bobina de cobre moviendo un imán cerca de ella, convirtiendo así el trabajo mecánico de mover el imán en energía eléctrica, condujo a la ciencia y a la tecnología a un punto decisivo. Su experimento fundamental dio origen, por un lado, a toda la tecnología de la ingeniería eléctrica y, por otro, constituyó la base de sus especulaciones teóricas y de las de Maxwell, que finalmente se condensaron en una teoría completa del electromagnetismo. Faraday y Maxwell no solo estudiaron los efectos de las fuerzas eléctricas y magnéticas, sino que hicieron de ellas el principal objeto de su investigación. Reemplazaron el concepto de fuerza por el de campo de fuerza, y con ello fueron los primeros en ir más allá de la física newtoniana.

En lugar de interpretar la interacción que se da entre una carga positiva y una negativa diciendo simplemente que las dos cargas se atraen una a la otra como lo harían dos masas según la mecánica newtoniana, encontraron más apropiado señalar que cada una de las cargas crea una «perturbación» o una «condición» en el espacio que las circunda, de tal modo que cuando la otra carga está presente, siente una fuerza. A esta característica del espacio capaz de producir una fuerza la denominaron campo. Un campo se crea mediante una sola carga y existe tanto si se introduce otra carga que sienta su efecto como si no.

Este fue uno de los más profundos cambios ocurridos en la concepción que el hombre tenía de la realidad física. Desde la perspectiva newtoniana, las fuerzas estaban rígidamente relacionadas con los cuerpos sobre los que actuaban, pero a partir de entonces el concepto de fuerza tuvo que ser sustituido por el mucho más sutil concepto de campo, que tenía su propia realidad y que podía estudiarse sin ninguna referencia a los cuerpos materiales. La culminación de esta teoría, llamada electrodinámica, fue el descubrimiento de que la luz no es más que un campo magnético que alterna muy rápidamente y que viaja a través del espacio en forma de ondas. Hoy sabemos que tanto las ondas de radio como las ondas de luz o los rayos X son ondas electromagnéticas, campos eléctricos y magnéticos oscilantes que difieren solo en la frecuencia de su oscilación, y también que la luz visible constituye únicamente una minúscula fracción del espectro electromagnético.

A pesar de estos trascendentales cambios, la mecánica newtoniana siguió manteniendo su posición como base de toda la física. El mismo Maxwell trató de explicar sus resultados en términos mecánicos, interpretando los campos como formas de fuerza mecánica que se daban dentro de un ligerísimo medio que llenaba el espacio, llamado éter, y las ondas electromagnéticas como ondas elásticas de este éter. Su idea era muy natural, pues las ondas se experimentan normalmente como vibraciones de algo: las ondas de agua como vibraciones del agua, las sonoras como vibraciones del aire… Maxwell utilizó varias interpretaciones mecánicas de su teoría, aunque en apariencia no tomó ninguna de ellas realmente en serio. Debió de percibir intuitivamente, incluso aunque nunca lo dijese de un modo explícito, que las entidades fundamentales de su teoría eran los campos y no los modelos mecánicos. Cincuenta años más tarde, fue Einstein quien reconoció con claridad este hecho, declarando que no existe ningún éter y que los campos electromagnéticos son entidades físicas por derecho propio, que pueden viajar a través del espacio vacío y no pueden explicarse mecánicamente.

Así, a comienzos del siglo XX, los físicos tenían a su disposición dos exitosas teorías que aplicaron a diferentes fenómenos: la mecánica de Newton y la electrodinámica de Maxwell. De este modo, el modelo newtoniano había dejado ya de ser la base única de toda la física.

La física moderna

Las tres primeras décadas del siglo pasado cambiaron radicalmente todo el panorama de la física. Dos hallazgos separados —el de la teoría de la relatividad y el de la física atómica— vinieron a destruir todos los conceptos principales de la concepción newtoniana del mundo: la noción del espacio y tiempo absolutos, las partículas sólidas elementales, la naturaleza estrictamente causal de los fenómenos físicos y el ideal de una descripción objetiva de la naturaleza. Ninguno de estos conceptos podía ampliarse hasta alcanzar los nuevos dominios en los que ahora la física estaba entrando.

En los comienzos de la física moderna se da la extraordinaria hazaña intelectual de un hombre: Albert Einstein. En dos artículos, ambos publicados en 1905, Einstein inició dos tendencias revolucionarias de pensamiento. Una fue su teoría especial de la relatividad; la otra, una nueva forma de considerar la radiación electromagnética, que iba a convertirse en la característica de la teoría cuántica: la teoría de los fenómenos atómicos. La teoría cuántica

completa fue elaborada veinte años más tarde por todo un equipo de físicos. La de la relatividad, sin embargo, fue construida casi en su totalidad por Einstein. A comienzos del siglo XX, los trabajos científicos de este se elevan como imponentes monumentos intelectuales —las pirámides de la civilización moderna.

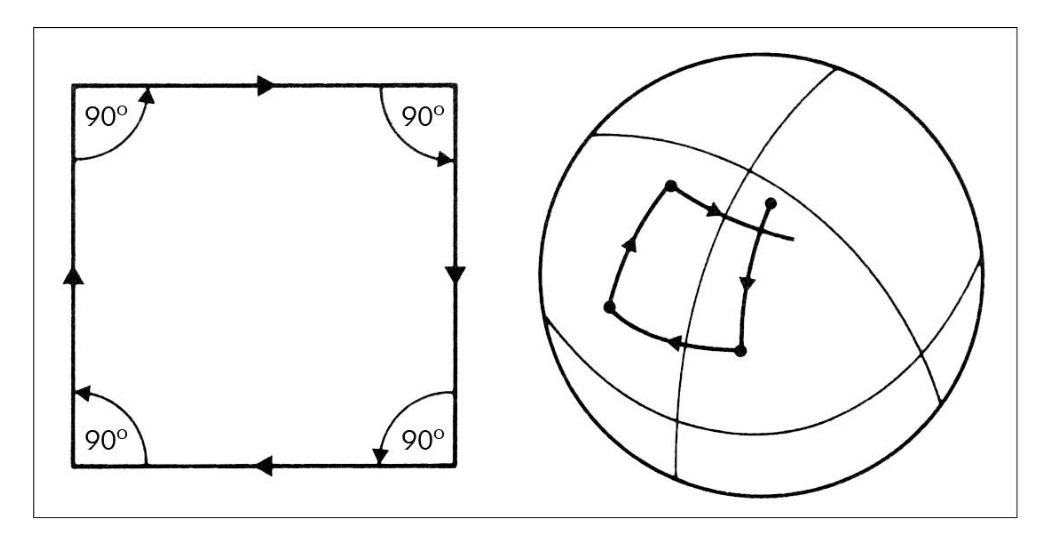
Einstein creía firmemente en la armonía inherente en toda la naturaleza y durante toda su vida científica su más profundo interés fue encontrar una base única para toda la física. Comenzó a ir hacia esta meta construyendo un armazón común que sirviese tanto para la mecánica como para la electrodinámica, las dos teorías de la física clásica. Este armazón es conocido como la teoría especial de la relatividad, que vino a unificar y completar la estructura de la física clásica, pero al mismo tiempo implicaba drásticos cambios en los conceptos tradicionales de espacio y tiempo, socavando así uno de los cimientos de la visión newtoniana del mundo.

Según la teoría de la relatividad, el espacio no es tridimensional y el tiempo no constituye una entidad separada. Ambos están íntimamente relacionados y forman una continuidad cuatridimensional «espacio-temporal». En la teoría de la relatividad, por lo tanto, no podemos hablar de espacio sin hablar de tiempo y viceversa. Además, el tiempo no fluye como lo hacía según el modelo newtoniano. Diferentes observadores ordenarán los acontecimientos de un modo diferente en el tiempo si estos se mueven a distintas velocidades con relación a los sucesos observados. En este caso, dos acontecimientos que para un observador son simultáneos para otros observadores pueden ocurrir en diferentes secuencias temporales. De este modo, todas las medidas que implicaban espacio y tiempo perdieron su significado absoluto. Con la teoría de la relatividad el concepto newtoniano de un espacio absoluto, escenario de los fenómenos físicos, se abandonó totalmente, y lo mismo ocurrió con el concepto de tiempo absoluto. Espacio y tiempo se convirtieron en simples elementos del lenguaje, que un observador particular podrá utilizar para describir los fenómenos que observa.

Los conceptos de espacio y tiempo ocupaban una posición tan básica en la descripción de los fenómenos naturales que su modificación supuso cambiar toda la estructura empleada hasta entonces para describir la naturaleza. La consecuencia más importante de esta modificación fue la conciencia de que la masa no es más que una forma de energía. Incluso un objeto en reposo tiene energía almacenada en su masa, y la relación existente entre energía y masa viene dada por la famosa ecuación $E = mc^2$, donde c es la velocidad de la luz.

Esta constante c, la velocidad de la luz, tiene una importancia fundamental en la teoría de la relatividad. Siempre que describamos fenómenos físicos que impliquen velocidades que se acerquen a la de la luz, deberemos tener en cuenta la teoría de la relatividad. Esto afecta en particular a los fenómenos electromagnéticos, de los que la luz es solo un ejemplo, el que condujo a Einstein a la formulación de esta teoría. En 1915, Einstein propuso su teoría general de la relatividad, en la que el armazón de la teoría primera o especial se amplía para incluir la gravedad, es decir, la atracción mutua de todos los cuerpos sólidos. Mientras que la teoría especial ha sido ya confirmada por innumerables experimentos, la teoría general todavía no se ha podido ratificar de un modo concluyente. Sin embargo, hasta ahora es la teoría de la gravedad más aceptada, más congruente y más elegante, y se está utilizando ampliamente en astrofísica y cosmología para la descripción del universo en general.

La fuerza de la gravedad, según la teoría de Einstein, «curva» el espacio y el tiempo. Esto significa que la geometría euclidiana ordinaria deja de ser válida en tal espacio curvo, del mismo modo que la geometría bidimensional plana no puede aplicarse a la superficie de una esfera. Sobre un plano podemos trazar, por ejemplo, un cuadrado, señalando un metro sobre una línea recta, haciendo un ángulo recto y marcando otro metro; después deberemos hacer otro ángulo recto y marcar otro metro, y finalmente crearemos un tercer ángulo recto y marcaremos un metro una vez más; entonces nos hallaremos de nuevo en el punto de partida y el cuadrado estará completo. En una esfera, sin embargo, este procedimiento no funciona, porque las reglas de la geometría euclidiana no son aplicables a las superficies curvas. Del mismo modo, podemos definir un espacio curvo tridimensional como aquel en el cual la geometría euclidiana ya no es válida. La teoría de Einstein dice que el espacio tridimensional es realmente curvo, y que tal curvatura es causada por el campo gravitacional de los cuerpos sólidos.



Dibujo de un cuadrado sobre un plano y sobre una esfera

Siempre que haya un objeto sólido, por ejemplo una estrella o un planeta, el espacio que lo rodea estará curvado y su grado de curvatura dependerá de la masa del objeto. Y como en la teoría de la relatividad el espacio no puede separarse del tiempo, el tiempo también se verá afectado por la presencia de la materia; de este modo, fluirá de una forma diferente en las distintas partes del universo. Así, la teoría general de la relatividad de Einstein anula los conceptos de espacio y tiempo absolutos. No solamente serían relativas todas las mediciones que impliquen tiempo y espacio, sino que la estructura total del espacio-tiempo dependerá de la distribución que tenga la materia en el universo, perdiendo al mismo tiempo todo su significado el concepto de «espacio vacío».

La visión mecanicista del mundo sostenida por la física clásica estaba basada en la existencia de cuerpos sólidos que se movían por el espacio vacío. Este concepto todavía es válido en lo que se ha denominado «zona de dimensiones medias», es decir, en el reino de nuestra experiencia diaria, donde la física clásica continúa siendo una teoría útil. Ambos conceptos —el del espacio vacío y el de los cuerpos materiales sólidos— se encuentran tan profundamente arraigados en nuestros hábitos de pensamiento que resulta extremadamente difícil para nosotros imaginar una realidad física en la cual no tengan aplicación. Y, sin embargo, esto es precisamente lo que la física moderna nos obliga a hacer cuando vamos más allá de las dimensiones medias. El concepto de «espacio vacío» ha perdido ya su significado en astrofísica y en cosmología, ciencias que tratan del universo en términos generales, y el concepto de los objetos sólidos ha quedado destruido por la física atómica, la ciencia de lo infinitamente pequeño.

A principios del siglo XX se descubrieron varios fenómenos relacionados con la estructura de los átomos, inexplicables en los términos de la física clásica. La primera indicación de que los átomos tenían algún tipo de estructura surgió con el descubrimiento de los rayos X, nuevo tipo de radiación que rápidamente encontró su bien conocida aplicación en la medicina. Los rayos X, no obstante, no son la única radiación emitida por los átomos. Poco después se descubrieron otros tipos de radiaciones emitidas por los átomos de las llamadas sustancias radioactivas. El fenómeno de la radioactividad generó la prueba definitiva de la naturaleza compuesta de los átomos, demostrando que los átomos de las sustancias radioactivas no solamente emiten varios tipos de radiaciones, sino que también se transforman en átomos de sustancias totalmente diferentes.

Además de ser objeto de intenso estudio, estos fenómenos se utilizaron también, y de las formas más ingeniosas, en nuevos instrumentos para experimentar las profundidades de la materia, mucho más allá de lo que nunca antes había sido posible. De este modo, Max von Laue empleó los rayos X para estudiar la ordenación de los átomos en los cristales y Ernest Rutherford advirtió que las partículas que emanan de las sustancias radioactivas —partículas denominadas alfa— eran proyectiles de alta velocidad y dimensiones subatómicas, que podían usarse para explorar el interior del átomo. Podían ser bombardeados los átomos, y según la forma en que resultaran desviados se podrían sacar conclusiones sobre la propia estructura atómica.

Cuando Rutherford utilizó estas partículas alfa para bombardear los átomos, obtuvo resultados sensacionales y totalmente inesperados. En lugar de ser las partículas duras y sólidas que se había creído desde la antigüedad, los átomos resultaron estar compuestos de vastas regiones de espacio en el cual partículas extremadamente pequeñas —los electrones— se movían alrededor del núcleo, encadenadas a él por medio de fuerzas eléctricas. No es fácil hacerse una idea del tamaño de los átomos, pues se encuentra fuera de nuestra escala macroscópica. El diámetro de un átomo es aproximadamente la cienmillonésima parte de un centímetro. Con el fin de visualizar esta diminuta medida, imagina una naranja inflada hasta alcanzar el tamaño de la Tierra. Los átomos de la naranja tendrían el tamaño de cerezas. Billones de cerezas, agrupadas apretadamente dentro de un globo del tamaño de la Tierra: así sería la imagen ampliada de los átomos de una naranja.

Por lo tanto, el átomo es extremadamente pequeño, comparado con los objetos macroscópicos, pero enorme si lo comparamos con el núcleo que

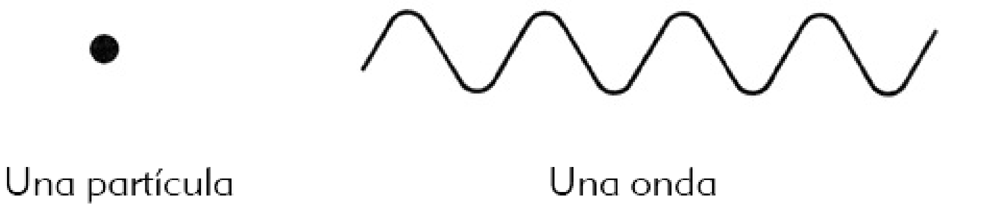
tiene en su centro. En nuestra representación de los átomos como si fueran cerezas, el núcleo sería tan pequeño que seríamos incapaces de verlo; si inflásemos el átomo hasta alcanzar el tamaño de una pelota, o incluso de una habitación, todavía sería demasiado pequeño para poder verlo a simple vista. Para ser capaces de ver el núcleo, tendríamos que aumentar el átomo hasta el tamaño de la cúpula más grande del mundo, la cúpula de la catedral de San Pedro en Roma. En un átomo de ese tamaño, el núcleo vendría a ser como un grano de sal. Un grano de sal flotando en medio de la cúpula de la catedral de San Pedro y motas de polvo girando a su alrededor, dentro del mismo espacio de la cúpula: así es como podríamos representar el núcleo y los electrones de un átomo.

Poco después de establecido este modelo planetario del átomo, se descubrió que el número de electrones existentes en los átomos de un cierto elemento determinan sus propiedades químicas, y hoy sabemos que la totalidad de la tabla periódica de los elementos puede desarrollarse añadiendo sucesivamente protones y neutrones al núcleo del átomo más ligero —el hidrógeno[**]— y el correspondiente número de electrones a su caparazón atómico. Las interacciones que se producen entre los átomos dan lugar a los diversos procesos químicos, de modo que todo lo referente a la química puede ahora comprenderse sobre la base de las leyes de la física atómica.

Estas leyes, sin embargo, no resultaron fáciles de reconocer. Fueron descubiertas en 1920 por un grupo internacional de físicos que incluía a Niels Bohr (Dinamarca), Louis De Broglie (Francia), Erwin Schrödinger y Wolfgang Pauli (Austria), Werner Heisenberg (Alemania) y Paul Dirac (Inglaterra). Estos hombres aunaron sus esfuerzos más allá de sus fronteras nacionales y lograron perfilar uno de los más apasionantes períodos de la ciencia moderna, que puso al hombre, por vez primera, en contacto con la extraña e inesperada realidad del mundo subatómico. Cada vez que los físicos hacían una pregunta a la naturaleza en un experimento atómico, esta respondía con un absurdo, y cuanto más trataban de aclarar la situación, más desconcertante resultaba dicho absurdo. Tardaron mucho tiempo en aceptar el hecho de que estas absurdas paradojas pertenecen a la estructura intrínseca de la física atómica y en darse cuenta de que surgen siempre que se intenta describir los sucesos atómicos en los términos tradicionales de la física. Una vez apercibidos de esto, comenzaron a aprender la forma de efectuar las preguntas correctas y de evitar las contradicciones. En palabras de Heisenberg, de alguna manera captaron el espíritu de la teoría cuántica y, por

último, hallaron la formulación matemática precisa y congruente de esta teoría.

Incluso después de haberse completado su formulación matemática, los conceptos de la teoría cuántica no fueron fáciles de aceptar. Su efecto sobre la imaginación de los físicos fue verdaderamente destructor. Los experimentos de Rutherford habían demostrado que los átomos, en lugar de ser duros e indestructibles, consistían en vastas regiones de espacio donde unas partículas extremadamente pequeñas se movían, y ahora la teoría cuántica aclaraba que incluso estas partículas no se asemejan en nada a los objetos sólidos de la física clásica. Las unidades subatómicas de materia son entidades muy abstractas que presentan un aspecto dual. Dependiendo de cómo las veamos, aparecen a veces como partículas y otras veces como ondas —naturaleza dual que es también manifestada por la luz, que puede tomar la forma de ondas electromagnéticas o de partículas.



Esta propiedad común de la materia y de la luz resulta muy extraña. Parece imposible aceptar que algo pueda ser al mismo tiempo una partícula —es decir, un cuerpo, aunque de volumen pequeñísimo— y una onda, que se esparce por una extensa región del espacio. Esta contradicción dio lugar a paradojas y absurdos semejantes a los *koans* que finalmente llevaron a la formulación de la teoría cuántica. Su evolución comenzó al descubrir Max Planck que la energía de la radiación calorífica no es emitida continuamente, sino que aparece en forma de «paquetes de energía». Einstein llamó a estos paquetes de energía «cuantos» y los reconoció como un aspecto fundamental de la naturaleza. Fue lo suficientemente atrevido como para pretender que la luz y cualquier otra forma de radiación electromagnética puede aparecer no solo como ondas electromagnéticas, sino también bajo la forma de estos cuantos. Los cuantos de luz, que dieron su nombre a la teoría cuántica, han sido aceptados desde entonces como auténticas partículas y ahora se los llama fotones. Sin embargo, se trata de partículas de un tipo especial, sin masa, que viajan siempre a la velocidad de la luz.

La aparente contradicción existente entre los conceptos de partícula y onda se resolvió de un modo completamente inesperado, que vino a cuestionar el propio fundamento de la visión mecanicista del mundo: el concepto de la realidad de la materia. A nivel subatómico, la materia no está con seguridad en un lugar determinado, sino que más bien muestra «tendencias a existir», y los sucesos atómicos no ocurren con seguridad en determinados tiempos y en determinadas maneras, sino que más bien muestran «tendencias a ocurrir». En el formulismo de la teoría cuántica, estas tendencias se expresan como probabilidades y están relacionadas con cantidades matemáticas que toman la forma de ondas. Esta es la razón por la cual las partículas pueden ser al mismo tiempo ondas. No se trata de ondas tridimensionales «reales» como las ondas sonoras o las ondas de agua, sino de «ondas de probabilidad», cantidades matemáticas abstractas, con todas las características propias de las ondas, relacionadas con las probabilidades de encontrar las partículas en puntos concretos del espacio y en tiempos particulares. Todas las leyes de la física atómica se expresan en términos de estas probabilidades. Nunca se puede predecir un suceso atómico con certeza; solo podemos decir que es probable que ocurra.

La teoría cuántica vino así a demoler los conceptos clásicos de los objetos sólidos y de las leyes estrictamente deterministas de la naturaleza. A nivel subatómico, los objetos materiales sólidos de la física clásica se diluyen en patrones de probabilidad semejantes a las ondas, y estos patrones, finalmente, no representan probabilidades de cosas, sino más bien probabilidades de interconexiones.

Un cuidadoso análisis del proceso de observación en la física atómica ha demostrado que las partículas subatómicas no tienen ningún significado como entidades aisladas, sino que solo pueden entenderse como interconexiones entre la preparación de un experimento y su consiguiente medición. De este modo la teoría cuántica ha revelado la unidad básica del universo. Ha mostrado que no podemos descomponer el mundo en las unidades más pequeñas existentes independientemente. A medida que penetramos en la materia, la naturaleza no nos muestra ningún «ladrillo básico» aislado, sino que aparece como una complicada telaraña de relaciones existentes entre las diversas partes del conjunto. Estas relaciones siempre incluyen al observador de un modo esencial. El observador humano constituye el nexo final en la cadena de los procesos de observación, y las propiedades de cualquier objeto atómico solo se pueden comprender en términos de la interacción que tiene lugar entre el objeto observado y el observador. Esto significa que el ideal

clásico de una descripción objetiva de la naturaleza ha dejado ya de tener validez. La separación cartesiana entre yo y el mundo, entre el observador y lo observado, no puede hacerse cuando se trata con la materia atómica. En la física atómica nunca podemos hablar de la naturaleza sin, al mismo tiempo, hablar sobre nosotros mismos.

La nueva teoría atómica pudo inmediatamente resolver varios rompecabezas que habían surgido en relación con la estructura de los átomos y que no podían explicarse con el modelo planetario de Rutherford. En principio, los experimentos de Rutherford demostraron que los átomos que conforman la materia sólida están casi en su totalidad formados por espacio vacío, en lo que a la distribución de la masa se refiere. Pero si todos los objetos que nos rodean, y nosotros mismos, estamos en nuestra mayor parte formados por espacio vacío, ¿por qué no podemos pasar a través de las puertas cerradas? En otras palabras, ¿qué es lo que le da a la materia su aspecto sólido?

Un segundo enigma era la extraordinaria estabilidad mecánica de los átomos. En el aire, por ejemplo, los átomos colisionan entre sí millones de veces por segundo y, sin embargo, después de cada colisión vuelven a su forma original. Ningún sistema planetario que siguiese las leyes de la mecánica clásica saldría jamás de estas colisiones sin sufrir alteración. Sin embargo, un átomo de oxígeno siempre seguirá con su configuración característica de electrones, sin importar las veces que colisione con otros átomos. Esta configuración, además, es exactamente la misma en todos los átomos de un tipo dado. Dos átomos de hierro, y del mismo modo dos trozos de hierro puro, son completamente idénticos, sin importar de dónde vengan o qué les haya ocurrido en el pasado.

La teoría cuántica ha demostrado que todas estas sorprendentes propiedades de los átomos son consecuencia de la naturaleza ondular de sus electrones. Para empezar, el aspecto sólido de la materia es producto de un típico «efecto cuántico» relacionado con el aspecto dual onda-partícula de la materia. Se trata de un rasgo del mundo subatómico que no tiene ninguna analogía en el mundo macroscópico. Siempre que una partícula se halla confinada en una pequeña región del espacio, reacciona a su confinamiento moviéndose a su alrededor, y cuanto más pequeña sea la región de confinamiento, con más rapidez se moverán las partículas. Ahora en el átomo existen dos fuerzas que compiten. Por un lado, los electrones están ligados al núcleo mediante fuerzas eléctricas que tratan de mantenerlos tan cerca como sea posible. Por otro, estos responden a su confinamiento girando

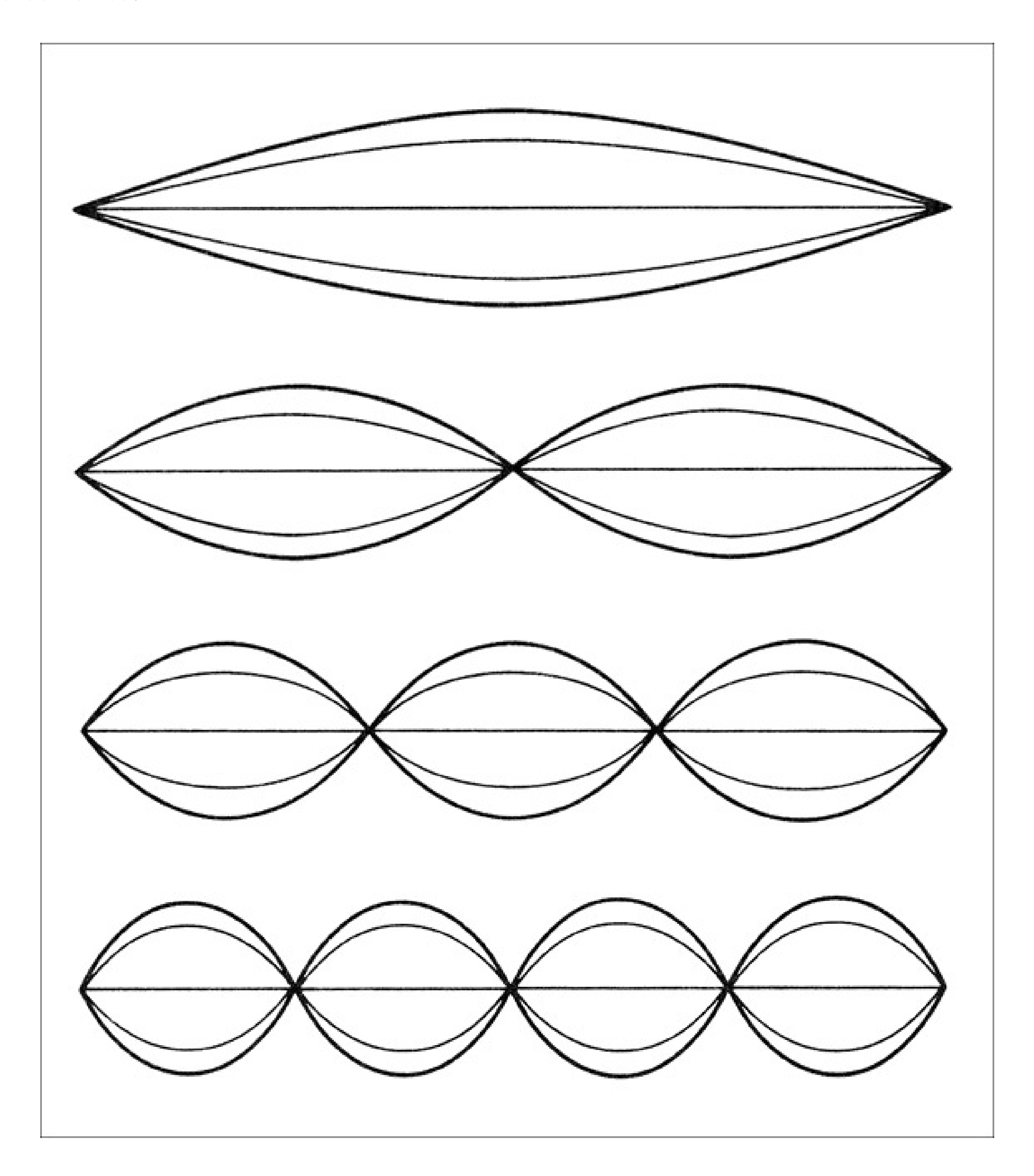
rápidamente, y cuanto más apretados hacia el núcleo se hallen, más alta será su velocidad; de hecho, este confinamiento de los electrones en el átomo genera en ellos enormes velocidades, de aproximadamente setecientos kilómetros por segundo. Estas altas velocidades son las que hacen que el átomo aparezca como una esfera rígida, exactamente del mismo modo que una hélice que gira muy rápidamente se muestra como un disco. Es muy difícil comprimir más los átomos; por eso le dan a la materia su conocido aspecto sólido.

De este modo, en el átomo los electrones se disponen en órbitas, de tal manera que se establece un equilibrio entre la atracción que sobre ellos ejerce el núcleo y su resistencia a ser confinados.

Estas órbitas atómicas, sin embargo, son muy diferentes de las que siguen los planetas del sistema solar. Esta diferencia consiste en la naturaleza ondular de los electrones. Un átomo no puede representarse como un pequeño sistema planetario. Más que partículas que giran alrededor del núcleo, hemos de imaginar ondas de probabilidad ordenadas en diferentes órbitas. Siempre que hagamos una medición, encontraremos los electrones en alguna parte de estas órbitas, pero no podemos decir que estén «girando alrededor del núcleo» en el sentido de la mecánica clásica.

Dentro de las órbitas, las ondas de electrones tienen que estar ordenadas de tal manera que «sus extremos se toquen», es decir, que formen los patrones conocidos como «ondas permanentes». Estos patrones aparecen siempre que las ondas están confinadas en una región finita, como las ondas que se dan en una cuerda de guitarra en vibración o en el aire dentro de una flauta. Por estos ejemplos, sabemos que las ondas permanentes pueden asumir únicamente un número limitado de formas bien definidas. En el caso de las ondas de los electrones dentro de un átomo, esto significa que pueden existir solo en ciertas órbitas atómicas con diámetros definidos. El electrón de un átomo de hidrógeno, por ejemplo, solo podrá existir en una cierta primera, segunda o tercera órbita, etc., y en ningún otro lugar entre ellas. En condiciones normales, estará siempre en su órbita más baja, llamada el «estado elemental» del átomo. De ella, el electrón puede saltar a órbitas más elevadas si recibe la cantidad necesaria de energía, y en ese caso se dice del átomo que se encuentra en un «estado excitado» desde el cual volverá a su estado elemental después de un instante, liberando la energía excedente bajo la forma de un cuanto de radiación electromagnética o fotón. Los estados de un átomo, es decir, las formas y distancias mutuas de las órbitas de sus electrones, son

exactamente los mismos para todos los átomos que tengan igual número de electrones.



Patrones de onda permanente en la vibración de una cuerda.

Esta es la razón por la cual dos átomos cualesquiera de oxígeno, por ejemplo, serán completamente idénticos. Pueden hallarse en diferentes estados de excitación, debido tal vez a las colisiones que sufren con otros átomos en el aire, pero después de un instante volverán invariablemente al mismo estado elemental. La naturaleza ondular de los electrones tiene así mucho que ver con la identidad de los átomos y su gran estabilidad mecánica.

Otro rasgo característico de los estados atómicos es el hecho de que pueden especificarse por medio de un conjunto de números integrales, llamado «números cuánticos», los cuales indican la localización y el perfil de las órbitas de los electrones. El primer número cuántico es el número de la órbita y determina la energía que un electrón debe tener para estar en esa órbita; otros dos números definen el perfil de la onda del electrón dentro de la órbita y están relacionados con la velocidad y la orientación de la rotación del electrón[***]. El hecho de que estos detalles se expresen mediante números enteros quiere decir que el electrón no podrá cambiar su rotación continuamente, sino que solo podrá saltar de un valor a otro, del mismo modo que solo puede saltar de una órbita a otra. De nuevo, los valores más altos representan estados excitados del átomo, y el estado elemental es donde se encuentran todos los electrones en las órbitas más bajas posibles y en el que tienen las cantidades más pequeñas posibles de rotación.

Las tendencias a existir, las partículas que reaccionan al confinamiento con movimiento, los átomos que cambian de pronto de un «estado cuántico» a otro y la interconexión esencial de todos los fenómenos son algunos de los rasgos insólitos del mundo atómico. Por otro lado, la fuerza básica que origina todos los fenómenos atómicos es conocida y puede experimentarse en el mundo macroscópico: es la fuerza de atracción eléctrica existente entre el núcleo atómico, cargado positivamente, y los electrones, cargados negativamente. La interacción de esta fuerza con las ondas de los electrones da lugar a la tremenda variedad de estructuras y fenómenos existentes en nuestro entorno. Es la responsable de todas las reacciones químicas y de la formación de las moléculas, es decir, de conglomerados de varios átomos, unidos unos a otros por una atracción mutua. La interacción entre los electrones y los núcleos atómicos es por tanto la base de todos los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos, y también de todos los organismos vivos y los procesos biológicos con ellos relacionados.

En este mundo inmensamente rico de fenómenos atómicos, los núcleos desempeñan el papel de centros estables extremadamente pequeños, que constituyen la fuente de la fuerza eléctrica y forman los esqueletos de la gran variedad de estructuras moleculares. Para comprender estas estructuras, y la mayoría de los fenómenos naturales que nos rodean, no necesitamos conocer de los núcleos más que su carga y su masa. Sin embargo, para llegar a entender la naturaleza de la materia, para saber de qué está hecha definitivamente, es preciso estudiar los núcleos atómicos, pues contienen prácticamente toda la masa del átomo. Alrededor de 1930, después de que la

teoría cuántica hubo desenmarañado el mundo de los átomos, la principal tarea de los físicos fue comprender la estructura de los núcleos, sus componentes y las fuerzas que los mantienen tan sólidos y coherentes.

El primer paso importante hacia la comprensión de la estructura del núcleo fue el descubrimiento del neutrón como segundo componente nuclear. El neutrón es una partícula que tiene más o menos la misma masa que el protón (el primer componente nuclear) y alrededor de dos mil veces la masa del electrón, pero que no lleva carga eléctrica alguna. Este descubrimiento no solamente explicaba que los núcleos de todos los elementos químicos estaban constituidos por protones y neutrones, sino que también revelaba que la fuerza nuclear, que conserva estas partículas tan firmemente unidas dentro del núcleo, era un fenómeno completamente nuevo pues no podía ya ser de origen electromagnético, dado que los neutrones son eléctricamente neutros. Los físicos pronto se dieron cuenta de que se estaban enfrentando con una nueva fuerza de la naturaleza, que no se manifiesta en ninguna otra parte fuera del núcleo atómico.

Un núcleo es aproximadamente unas cien mil veces más pequeño que la totalidad del átomo y, sin embargo, contiene casi toda su masa. Esto significa que la materia existente dentro del núcleo debe de ser extremadamente densa, en comparación con las formas de materia a las que estamos acostumbrados. De hecho, si todo el cuerpo humano fuese comprimido a una densidad semejante a la nuclear, no ocuparía más espacio que una cabeza de alfiler. Esta elevada densidad, sin embargo, no es la única propiedad extraordinaria que presenta la materia nuclear. Al ser de la misma naturaleza cuántica que los electrones, los «nucleones» —como a veces se llama a los protones y neutrones— responden a su confinamiento con altas velocidades, y puesto que se encuentran apretados dentro de un volumen mucho más pequeño, su reacción es mucho más violenta: se precipitan alrededor del núcleo con velocidades de unos cincuenta mil kilómetros por segundo. La materia nuclear es así una forma de materia completamente diferente de cualquier otra que seamos capaces de experimentar en nuestro medio macroscópico. Podemos, representárnosla quizá como pequeñas gotas de un líquido extremadamente denso que está hirviendo y burbujeando continuamente con gran intensidad.

El nuevo aspecto esencial de la materia nuclear que genera todas sus fantásticas propiedades es la potente fuerza nuclear, y el rasgo que hace de esta fuerza algo único es su extremadamente corto alcance. Actúa solo cuando los «nucleones» se acercan mucho unos a otros, cuando su distancia es unas

dos o tres veces su diámetro. A esta distancia, la fuerza nuclear es muy atrayente; sin embargo, cuando tal distancia se hace menor, esa fuerza se vuelve muy repulsiva a fin de que los «nucleones» no puedan acercarse más unos a otros. De esta manera, la fuerza nuclear mantiene el núcleo dentro de un equilibrio muy estable, pero al mismo tiempo muy dinámico.

El estudio de los átomos y los núcleos nos muestra que la mayor parte de la materia está concentrada en diminutas gotas, separadas por enormes distancias. En el vasto espacio existente entre las gotas nucleares, sólidas e hirviendo agitadamente, se mueven los electrones. Estos constituyen solo una pequeñísima fracción de la masa total, pero son ellos los que le dan a la materia su aspecto sólido y le proporcionan los vínculos necesarios para construir las estructuras moleculares. También tienen que ver con las reacciones químicas y son los responsables de las propiedades químicas de la materia. Las reacciones nucleares por lo general, en esta forma de materia, no ocurren de modo natural, pues las energías existentes no son lo bastante elevadas como para llegar a perturbar el equilibrio nuclear.

Esta forma de materia, sin embargo, con su similitud de formas y texturas y su complicada arquitectura molecular, puede existir solo bajo condiciones muy especiales; es necesario que la temperatura no sea demasiado alta, para que las moléculas no se alteren demasiado. Cuando la energía térmica se eleva a la centésima potencia, como ocurre en la mayoría de las estrellas, todas las estructuras atómicas y moleculares son destruidas. La mayor parte de la materia del universo, de hecho, existe en un estado muy diferente del que acabo de describir. En el centro de las estrellas hay grandes acumulaciones de materia nuclear, y allí predominan procesos nucleares que ocurren solo muy raramente en la Tierra. Estos procesos son los responsables de la gran variedad de fenómenos estelares observados en astronomía, la mayoría de los cuales surgen de una combinación de efectos nucleares y gravitacionales. Para nuestro planeta, los procesos nucleares que tienen lugar en el centro del Sol son de particular importancia porque proporcionan la energía que sustenta a nuestro medio terrestre. Uno de los grandes triunfos de la física moderna ha sido descubrir que un flujo de energía mana constantemente del Sol, nuestro vínculo vital con el mundo de lo enormemente grande, y que a su vez es el resultado de reacciones nucleares que ocurren en su interior, es decir, de fenómenos que tienen lugar en el mundo de lo infinitamente pequeño.

En la historia del avance del hombre hacia este mundo submicroscópico, se alcanzó una etapa a principios de la década de los treinta en que los

científicos creyeron haber descubierto finalmente los «ladrillos básicos» con los que está construida la materia. Se sabía que toda la materia estaba formada por átomos y que todos los átomos se componían de protones, neutrones y electrones. Estas llamadas «partículas elementales» se consideraban las unidades de materia definitivas e indestructibles: átomos en el sentido de Demócrito. Aunque como he mencionado previamente la teoría cuántica implica que no podemos descomponer el mundo en las más pequeñas unidades existentes independientemente, esto en general no fue percibido en aquel tiempo. Los hábitos clásicos de pensamiento eran todavía tan persistentes que la mayor parte de los físicos trataban de entender la materia en términos de sus «ladrillos básicos», y esta tendencia de pensamiento es, de hecho, bastante fuerte incluso hoy en día.

Tabla de mesones

Abril 1974

Entrada	$I^G(J^P)C_n$	Entrada	$I^G(J^P)C_n$	Entrada	$I^G(J^P)C_n$	Entrada	$I\ (J^P)$
π (140)	$1^-(0^-)+$	→ η_N (1080)	$0^+(N\ )+$	ρ′ (1600)	$1^+(1^-)-$	K (494)	$1/2(0^-)$
η (549)	$0^+(0^-)^+$	A_1 (1100)	$1^-(1^+)+$	A_3 (1640)	$1^-(2^-)+$	K* (892)	$1/2(1^-)$
ε (600)	$0^+(0^+)+$	→ M (1150)		ω (1675)	$0^-(N\ )-$	κ	$1/2(0^+)$
ρ (770)	$1^+(1^-)-$	→ $A_{1.5}$ (1170)	1^-	g (1680)	$1^+(3^-)-$	Q	$1/2(1^+)$
ω (783)	$0^-(1^-)-$	B (1235)	$1^+(1^+)-$	→ X (1690)	$^-$	K* (1420)	$1/2(2^+)$
→ M (940)		→ ρ′ (1250)	$1^+(1^-)-$	→ X (1795)	1	→ K_N (1660)	1/2
→ M (953)	$^+$	f (1270)	$0^+(2^+)+$	→ S (1930)	1	→ K_N (1760)	1/2
η′ (958)	$0^+(0^-)+$	D (1285)	$0^+(A\ )+$	→ A_4 (1960)	1^-	L (1770)	$1/2(A\ )$
δ (970)	$1^-(0^+)+$	A_2 (1310)	$1^-(2^+)+$	→ ρ (2100)	1^+	→ K_N (1850)	
→ H (990)	$0^-(A\ )-$	E (1420)	$0^+(A\ )+$	→ T (2200)	1	→ K* (2200)	
S* (993)	$0^+(0^+)+$	→ X (1430)	0	→ ρ (2275)	1^+	→ K* (2800)	
φ (1019)	$0^-(1^-)-$	→ X (1440)	1	→ U (2360)	1		
→ M (1033)		f′ (1514)	$0^+(2^+)+$	→ NN̄ (2375)	0	→ Exóticos	
→ B_1 (1040)	1^+	F_1 (1540)	1 (A)	→ X(2500–3600)			

Tabla de bariones

Abril 1974

N(939)	P11	****	Δ(1232)	P33	****	Λ(1116)	P01	****	Σ(1193)	P11	****	Ξ(1317)	P11	****
N(1470)	P11	****	Δ(1650)	S31	****	Λ(1330)			Σ(1385)	P13	****	Ξ(1530)	P13	****
N(1520)	D13	****	Δ(1670)	D33	***	Λ(1405)	S01	****	Σ(1440)			Ξ(1630)		**
N(1535)	S11	****	Δ(1690)	P33	*	Λ(1520)	D03	****	Σ(1480)		*	Ξ(1820)		***
N(1670)	D15	****	Δ(1890)	F35	***	Λ(1670)	S01	****	Σ(1620)	S11	**	Ξ(1940)		***
N(1688)	F15	****	Δ(1900)	S31	*	Λ(1690)	D03	****	Σ(1620)	P11	**	Ξ(2030)		**
N(1700)	S11	****	Δ(1910)	P31	***	Λ(1750)	P01	**	Σ(1670)	D13	****	Ξ(2250)		*
N(1700)	D13	**	Δ(1950)	F37	****	Λ(1815)	F05	****	Σ(1670)		**	Ξ(2500)		**
N(1780)	P11	***	Δ(1960)	D35	**	Λ(1830)	D05	***	Σ(1690)		**			
N(1810)	P13	***	Δ(2160)		**	Λ(1860)	P03	**	Σ(1750)	S11	***	Ω(1672)	P03	****
N(1990)	F17	**	Δ(2420)	H311	***	Λ(1870)	S01	**	Σ(1765)	D15	****			
N(2000)	F15	**	Δ(2850)		***	Λ(2010)	D03	**	Σ(1840)	P13	*			
N(2040)	D13	**	Δ(3230)		***	Λ(2020)	F07	**	Σ(1880)	P11	**			
N(2100)	S11	*				Λ(2100)	G07	****	Σ(1915)	F15	****			
N(2100)	D15	*	Z0(1780)	P01	*	Λ(2110)	?05	*	Σ(1940)	D13	***			
N(2190)	G17	***	Z0(1865)	D03	*	Λ(2350)		****	Σ(2000)	S11	*			
N(2220)	H19	***	Z1(1900)	P13	*	Λ(2585)		***	Σ(2030)	F17	****			
N(2650)		***	Z1(2150)		*				Σ(2070)	F15	*			
N(3030)		***	Z1(2500)		*				Σ(2080)	P13	**			
N(3245)		*							Σ(2100)	G17	**			
N(3690)		*							Σ(2250)		****			
N(3755)		*							Σ(2455)		***			
									Σ(2620)		***			
									Σ(3000)		**			

**** Buena, clara e inconfundible
*** Buena, pero es necesaria una clarificación absoluta
** Necesita confirmación
* Débil

Dos avances más en la física moderna mostraron, no obstante, que la idea de unas partículas elementales como unidades primarias de materia había de abandonarse. Uno de estos avances fue experimental, el otro teórico, y ambos comenzaron en los años treinta. Por el lado experimental, se descubrieron nuevas partículas a medida que los físicos refinaban sus técnicas, desarrollando nuevos e ingeniosos dispositivos de detección. De este modo, el número de partículas conocidas aumentó de tres a seis en 1935, después a dieciocho en 1955, y hoy día se conocen más de doscientas partículas «elementales». Las dos tablas anteriores[11] muestran la mayor parte de las partículas conocidas actualmente. Ilustran de una manera convincente que el adjetivo «elemental» ya no resulta apropiado en esta situación. Como a lo largo de los años se fueron descubriendo cada vez más partículas, quedó claro que todas ellas no podían llamarse «elementales» y hoy existe entre los físicos la difundida creencia de que ninguna de ellas merece ese nombre.

Esta creencia fue confirmada por ciertos hallazgos teóricos paralelos al descubrimiento de un número cada vez mayor de partículas. Poco después de formulada la teoría cuántica, se hizo patente que una teoría completa sobre los fenómenos nucleares no debería incluir solamente la teoría cuántica, sino que también tendría que incorporar la de la relatividad. El motivo es que las partículas, confinadas a dimensiones del tamaño de los núcleos, con frecuencia se mueven tan rápido que sus velocidades se aproximan a la velocidad de la luz. Este hecho resulta crucial a la hora de describir su comportamiento, pues toda descripción de fenómenos naturales que implique velocidades cercanas a la de la luz deberá tener en cuenta la teoría de la relatividad. Ha de ser, como nosotros decimos, una descripción «relativista». Lo que necesitamos, por tanto, para un completo entendimiento del mundo nuclear es una teoría que incorpore ambas, la teoría cuántica y la de la relatividad. Esa teoría todavía no ha sido hallada y, por supuesto, hasta ahora no hemos sido capaces de formular una teoría completa del núcleo. Aunque sabemos bastante sobre la estructura nuclear y sobre las interacciones que se dan entre las partículas nucleares, todavía no comprendemos la naturaleza y la complicada manifestación de la fuerza nuclear a un nivel fundamental. No existe ninguna teoría completa que sea al mundo de las partículas nucleares lo que es la teoría cuántica para el mundo atómico. Tenemos, eso sí, varios modelos «cuánticos relativistas», que describen muy bien algunos aspectos del mundo de las partículas, pero la fusión de la teoría cuántica y la teoría de la relatividad dentro de una teoría única es todavía el problema central y el gran desafío de la física moderna.

La teoría de la relatividad tuvo una profunda influencia sobre nuestra idea de la materia, al obligarnos a modificar el concepto de partícula de un modo esencial. En la física clásica, la masa de un objeto siempre se había relacionado con una sustancia material indestructible, con alguna «materia» de la que se creía que estaban hechas todas las cosas. La teoría de la relatividad demostró que la masa no tiene nada que ver con ninguna sustancia, sino que es una forma de energía. La energía, sin embargo, es una cantidad dinámica relacionada con la actividad, o con los procesos. El hecho de que la masa de una partícula sea equivalente a una cierta cantidad de energía significa que la partícula ya no podrá considerarse como un objeto estático, sino que habrá de concebirse como un patrón dinámico, como un proceso que incluye la energía que se manifiesta a sí misma como masa de la partícula.

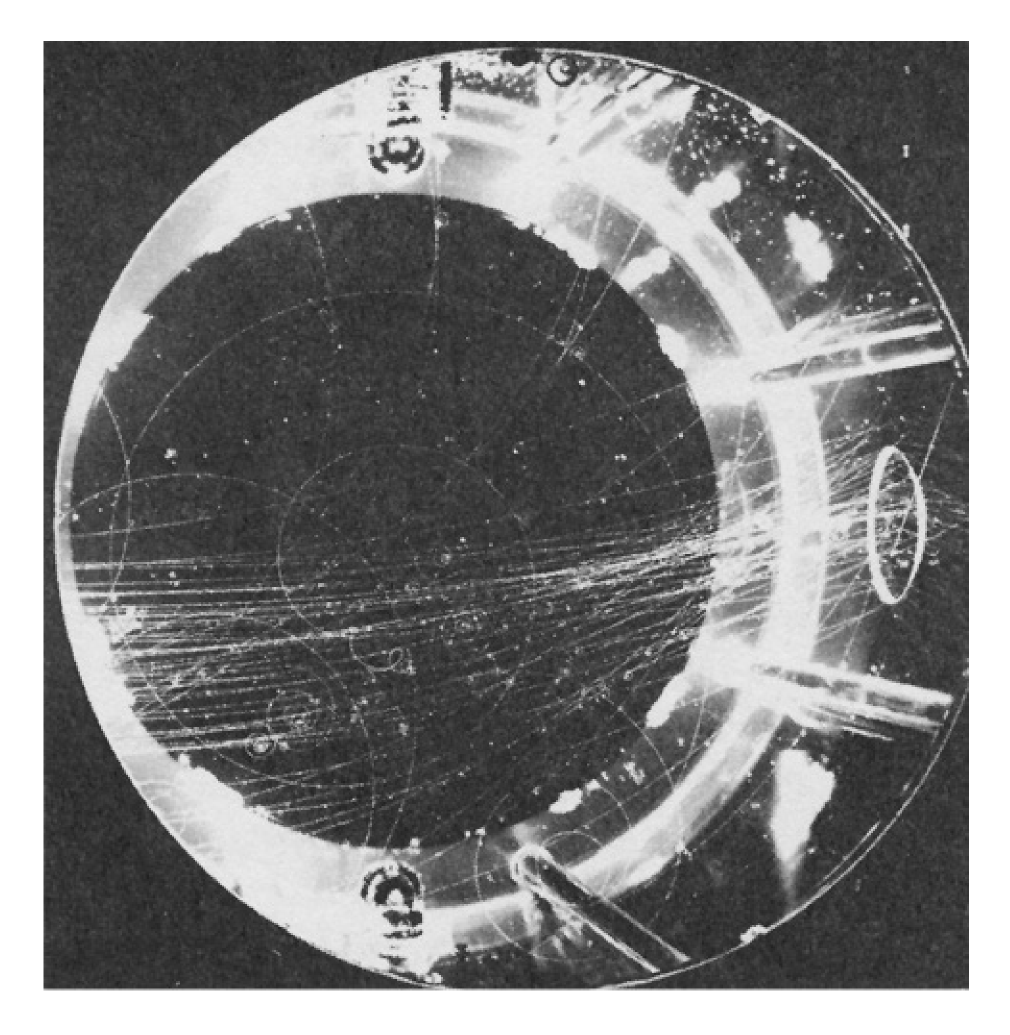
Este nuevo concepto de las partículas fue iniciado por Dirac al formular una ecuación relativista mediante la que describía el comportamiento de los electrones. La teoría de Dirac no solo tuvo un enorme éxito al dar cuenta de los finos detalles de la estructura atómica, sino que también reveló una simetría fundamental entre la materia y la antimateria. Predijo la existencia de un antielectrón con la misma masa que el electrón, pero con una carga opuesta. Esta partícula cargada positivamente, ahora llamada positrón, se descubrió realmente dos años después de que Dirac la predijera. La simetría entre la materia y la antimateria significa que para cada partícula existe una antipartícula de igual masa y de carga opuesta. Se pueden crear pares de partículas y antipartículas si se dispone de la suficiente energía que pueda transformarse en energía pura en el proceso inverso de aniquilación. Estos procesos de creación y aniquilación de partículas habían sido predichos por la teoría de Dirac antes de descubrirse realmente en la naturaleza, y desde entonces se han podido observar millones de veces.

La creación de partículas materiales partiendo de la energía pura es ciertamente el efecto más espectacular de la teoría de la relatividad, y solo puede comprenderse dentro de la concepción de las partículas explicada anteriormente. Antes de la física relativista de las partículas, los componentes de la materia se habían considerado siempre como unidades elementales, indestructibles e inmutables, o como objetos compuestos que podían dividirse en sus diferentes partes. La pregunta clave era si se podía dividir la materia una y otra vez, o si finalmente se llegaría a las unidades más pequeñas e indivisibles. Tras el descubrimiento de Dirac, la pregunta sobre la división de la materia apareció bajo una nueva luz. Cuando dos partículas colisionan con altas energías, generalmente se rompen en pedazos, pero estos pedazos no son

más pequeños que las partículas originales. Son de nuevo partículas de la misma clase y resultan creadas de la energía del movimiento inherente al proceso de colisión (energía cinética). Todo el problema de la división de la materia se resuelve así de un modo inesperado. La única forma de dividir las partículas subatómicas es hacerlas estallar juntas en procesos de colisión que conlleven altas energías. De esta forma, podremos dividir la materia una vez y otra, pero nunca obtendremos trozos más pequeños, pues solo crearemos partículas que surgirán de la energía aportada al proceso. Así, las partículas subatómicas son a un mismo tiempo destructibles e indestructibles.

Este estado de cosas está destinado a ser absurdo mientras adoptemos el concepto estático de «objetos» compuestos formados por «ladrillos básicos». Solo al adoptar el concepto dinámico y relativista, desaparece el absurdo. Las partículas, pues, se consideran patrones dinámicos, o procesos que implican una cierta cantidad de energía, que aparece ante nosotros como su masa. En el proceso de colisión, la energía de las dos partículas colisionantes se redistribuye para formar un nuevo patrón, y si se ha añadido una cantidad suficiente de energía cinética, este nuevo patrón puede incluir partículas adicionales.

Las colisiones de partículas subatómicas con alta energía son el principal método utilizado por los físicos para estudiar las propiedades de estas partículas, y por ello la física de las partículas es también conocida con el nombre de «física de alta energía». Las energías cinéticas necesarias para los experimentos de colisión se obtienen por medio de enormes aceleradores de partículas, gigantescas máquinas circulares cuya circunferencia alcanza varios kilómetros, donde los protones son acelerados hasta velocidades próximas a la velocidad de la luz, para después hacerlos colisionar con otros protones o neutrones. Es impresionante que sean necesarias máquinas de ese tamaño para investigar el mundo de lo infinitamente pequeño. Son los supermicroscopios de nuestro tiempo.



La mayoría de las partículas creadas en estas colisiones viven solo durante un tiempo extremadamente corto —menos de una millonésima de segundo—, después del cual se desintegran de nuevo en protones, neutrones y electrones. A pesar de su tan corto tiempo de vida, estas partículas no solo pueden ser detectadas y sus propiedades medidas, sino que realmente dejan huellas que pueden fotografiarse. Estas huellas de las partículas se producen en las llamadas cámaras de burbujas, de una manera similar al rastro que van dejando los aviones a reacción en el cielo. Las verdaderas partículas son muchos órdenes de magnitud más pequeñas que las burbujas que generan las huellas, pero por el espesor y la curvatura de las huellas los físicos pueden identificar la partícula que las causó. La ilustración anterior muestra huellas de una cámara de burbujas. Los puntos de los que emanan varias huellas son puntos de colisión de partículas, y las curvas son producidas por campos magnéticos que los experimentadores utilizan para identificar las diferentes partículas. Las colisiones de partículas constituyen el principal método experimental de que disponemos para estudiar sus propiedades e interacciones, y las hermosas líneas, espirales y curvas trazadas por las

partículas dentro de las cámaras de burbujas son de enorme importancia para los físicos modernos.

En las décadas pasadas, los experimentos de dispersión de alta energía nos revelaron la naturaleza dinámica y siempre cambiante del mundo de las partículas de la manera más sorprendente. La materia se mostró en estos experimentos como algo completamente mutable. Todas las partículas pueden transmutarse en otras partículas, crearse partiendo de la energía y desvanecerse en energía. Así, los conceptos clásicos de «partícula elemental», «sustancia material» u «objeto aislado» han perdido totalmente su significado; todo el universo aparece como una telaraña dinámica de patrones de energía inseparables. Hasta ahora, todavía no se ha encontrado una teoría completa que permita describir este mundo de partículas subatómicas, pero tenemos varios modelos teóricos que describen muy bien ciertos aspectos parciales. Ninguno de estos modelos está exento de dificultades matemáticas, y todos ellos se contradicen unos a otros en cierto modo, pero todos reflejan la unidad básica y el intrínseco carácter dinámico de la materia. Demuestran que las propiedades de una partícula solo pueden comprenderse en términos de su actividad —de su interacción con el entorno— y que dicha partícula, por tanto, no se puede considerar como una entidad aislada, sino que ha de entenderse forzosamente como parte integrante del conjunto.

La teoría de la relatividad no solo afectó de un modo drástico a nuestro concepto de las partículas, sino también a nuestra representación de las fuerzas que se dan entre ellas. En una descripción relativista de las interacciones que tienen lugar entre las partículas, las fuerzas existentes entre ellas —es decir, su mutua atracción o repulsión— son representadas como el intercambio de otras partículas. Este concepto resulta muy difícil de visualizar. Es una consecuencia del carácter espaciotemporal cuatridimensional del mundo subatómico y ni nuestra intuición ni nuestro lenguaje pueden tratar muy bien con esta imagen. Sin embargo, resulta crucial para la comprensión de los fenómenos subatómicos, pues une las fuerzas existentes entre los componentes de la materia con las propiedades de otros componentes de la materia, unificando así los dos conceptos, fuerza y materia, que parecían tan fundamentalmente diferentes desde los atomistas griegos. Ahora se considera que estos dos conceptos tienen su origen común en los patrones dinámicos que llamamos partículas.

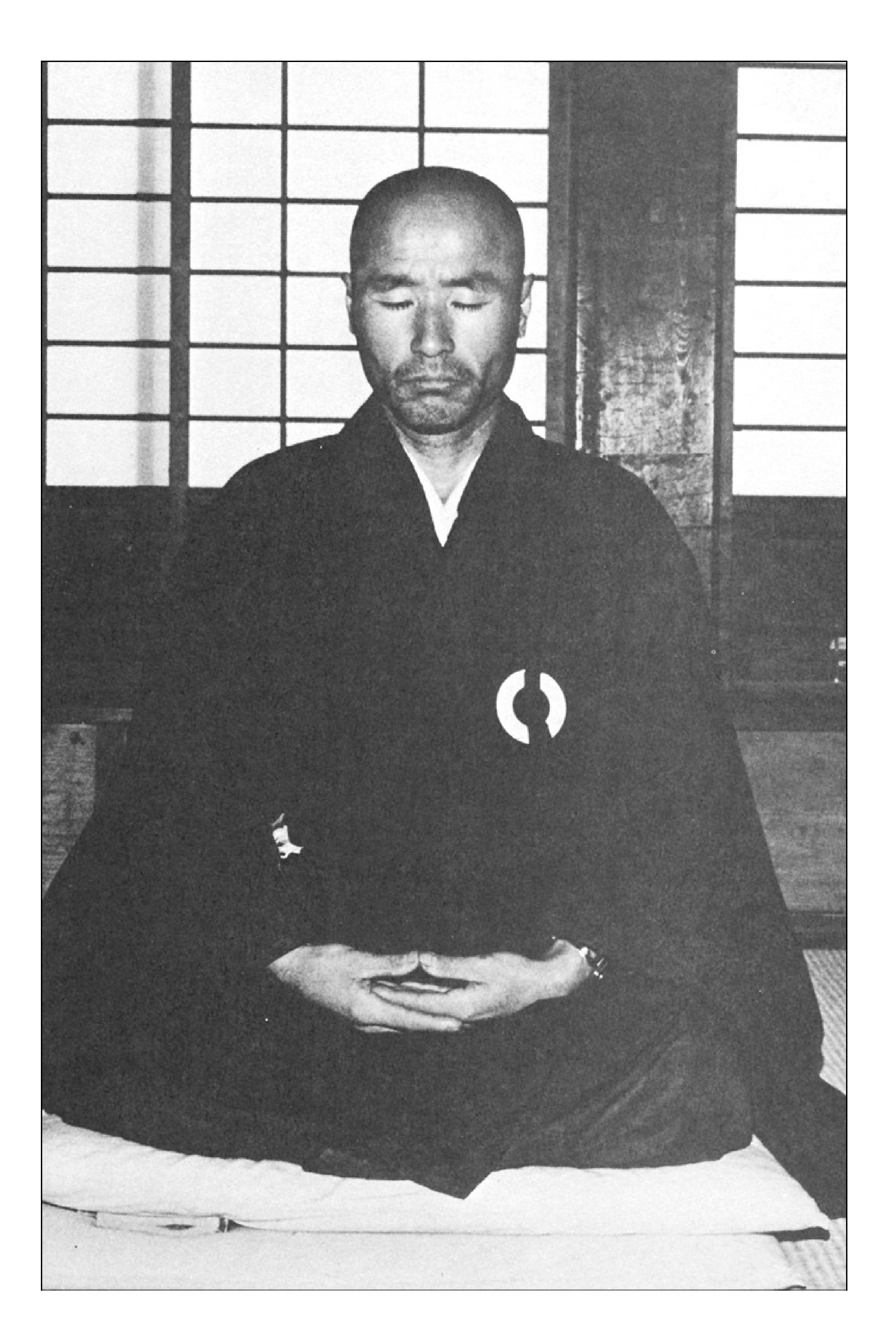
El hecho de que las partículas interactúen entre ellas a través de fuerzas que se manifiestan como el intercambio de otras partículas es otra razón más por la que el mundo subatómico no puede descomponerse en partes

integrantes. Desde el nivel macroscópico hasta el nivel nuclear, las fuerzas que mantienen a las cosas unidas son relativamente débiles y es una buena aproximación decir que las cosas se componen de partes que las constituyen. Así, puede decirse que un grano de sal se compone de moléculas de sal; las moléculas de sal, de dos clases de átomos; los átomos, de núcleos y electrones, y los núcleos, de protones y neutrones. A nivel de partículas, sin embargo, ya no es posible seguir viéndolo de este modo.

En los últimos años, se ha dado una evidencia creciente de que protones y neutrones son también objetos compuestos; pero las fuerzas que los mantienen en cohesión son tan fuertes —o lo que es lo mismo, las velocidades adquiridas por sus componentes son tan altas— que es necesario aplicar la representación relativista, en la que las fuerzas son también partículas. De este modo la distinción entre las partículas constituyentes y las creadoras de las fuerzas de unión se hace borrosa y la idea de un objeto compuesto de partes integrantes se desmorona. El mundo de las partículas no puede descomponerse en componentes elementales.

En la física moderna, el universo se experimenta como un todo dinámico, inseparable, que siempre incluye de una manera esencial al observador. En esta experiencia, los conceptos tradicionales de espacio y tiempo, de objetos aislados y de causa y efecto pierden su significado. Tal experiencia, no obstante, es muy similar a la de los místicos orientales. La similitud se hace evidente en las teorías cuántica y de la relatividad, y se acentúa aún más en los modelos «cuántico-relativistas» de la física subatómica, donde ambas teorías se combinan, produciéndose el más sorprendente paralelismo con el misticismo oriental.

Antes de examinar detalladamente estos paralelismos, ofreceré un breve relato de las escuelas de filosofía oriental que veremos en la comparación, para el lector que no esté familiarizado con ellas. Se trata de las diversas escuelas de hinduismo, budismo y taoísmo. En los cinco capítulos siguientes describiré el fondo histórico, los rasgos característicos y los conceptos filosóficos de estas tradiciones espirituales, acentuando aquellos aspectos y conceptos que sean importantes para su subsecuente comparación con la física.





II

EL CAMINO DEL MISTICISMO ORIENTAL

5

HINDUISMO

Para comprender cualquiera de las filosofías que voy a describir, es importante darse cuenta de que en esencia son religiosas. Su meta principal es la experiencia directa y mística de la realidad y puesto que tal experiencia es religiosa por naturaleza, estas filosofías son inseparables de la religión. Más que en ninguna otra tradición oriental, esto es cierto en el hinduismo, ya que en él esta conexión entre filosofía y religión es particularmente fuerte. Se ha dicho que casi todo el pensamiento de la India es, en cierto sentido, pensamiento religioso y el hinduismo no solo ha influenciado a lo largo de muchos siglos la vida intelectual de ese país, sino que casi ha determinado totalmente su vida cultural y social.



Shiva Mahervara. Templo de Elefanta (India). Siglo VIII.

El hinduismo no puede denominarse filosofía, pero tampoco constituye una religión bien definida. Se trata más bien de un amplio y complejo cuerpo

socio-religioso, compuesto por innumerables sectas, cultos y sistemas filosóficos, que implican numerosos rituales, ceremonias y disciplinas espirituales, al igual que la veneración de incontables dioses y diosas. Las muchas facetas de esta compleja pero persistente y poderosa tradición espiritual son un reflejo de las complejidades geográficas, raciales, lingüísticas y culturales del vasto subcontinente indio. Las manifestaciones del hinduismo abarcan desde filosofías altamente intelectuales, que incluyen conceptos de un nivel extraordinariamente elevado, hasta las ingenuas e infantiles prácticas rituales del pueblo llano. Si bien la mayoría de los hindúes son sencillos aldeanos que mantienen viva la religión popular con su adoración diaria, el hinduismo ha generado por otro lado un gran número de notables maestros espirituales que han transmitido sus profundas ideas.

La fuente espiritual del hinduismo radica en los *Vedas*, colección de antiguas escrituras creadas por sabios anónimos, los llamados «videntes» védicos. Existen cuatro *Vedas* de ellos, el más antiguo es el *Rig Veda*. Escritos en sánscrito antiguo, la lengua sagrada de la India, los *Vedas* han mantenido a través de los siglos la más alta autoridad religiosa, aceptada por la mayoría de los sectores del hinduismo. En la India, cualquier sistema filosófico que no acepte la autoridad de los *Vedas* es considerado heterodoxo.

Cada uno de estos *Vedas* se compone de varias partes que fueron recopiladas en diferentes períodos, probablemente entre los siglos XV y V a. de C. Las partes más antiguas son himnos y oraciones sagradas; las que siguen tratan de sacrificios rituales relacionados con los himnos védicos, y las últimas, llamadas *Upanishads* presentan un contenido altamente filosófico y práctico. Los *Upanishads* contienen la esencia del mensaje espiritual hinduista y han sido guía e inspiración de las mentes más grandes de la India durante los últimos veinticinco siglos, de acuerdo con el consejo dado por sus versos:

> Tomando como arco la potente arma del *Upanishad*,
> debes colocar en él la afilada flecha de la meditación.
> Ténsalo con un pensamiento dirigido a la esencia de Aquello.
> Y penetra el blanco imperecedero, amigo mío[1].

Sin embargo, el pueblo sencillo y llano no ha recibido las enseñanzas del hinduismo de los *Upanishads* sino a través de un gran número de cuentos populares, extraídos de enormes epopeyas, que son la base de la amplia y pintoresca mitología india. Una de tales epopeyas, el *Mahabharata*, contiene el texto sagrado favorito de la India, el bello poema espiritual denominado

Bhagavad Gita. El *Gita*, como normalmente se denomina, es un diálogo entre el dios Krishna y el guerrero Arjuna, quien se encuentra desesperado por verse obligado a combatir contra sus propios parientes en la gran guerra familiar que constituye la historia principal del *Mahabharata* Krishna, disfrazado como auriga de Arjuna, conduce su carro directamente entre los dos ejércitos y en medio del dramático cuadro de la batalla empieza a revelar a Arjuna las verdades más profundas del hinduismo. A medida que el dios habla, el fondo realista de la guerra entre las dos familias pronto se desvanece y se ve claramente que la batalla de Arjuna es la batalla espiritual de la humanidad, la batalla del guerrero en busca de la iluminación. El mismo Krishna aconseja a Arjuna:

> Mata, pues, con la espada de la sabiduría la duda nacida de la ignorancia que yace en tu corazón. Sé uno (en armonía contigo mismo) en el yoga, y levántate, gran guerrero, levántate[2].

La base de la instrucción espiritual de Krishna, como la de todo el hinduismo, es la idea de que la multitud de objetos, seres y acontecimientos que nos rodean no son más que manifestaciones de la misma realidad última. Esta realidad, llamada *Brahman* es el concepto unificante que le da al hinduismo su carácter esencialmente monista, pese a la adoración de numerosos dioses y diosas.

Brahman la realidad última, es el «alma» o esencia interna de todas las cosas. Es infinito y trasciende todos los conceptos; no puede ser entendido por el intelecto, ni tampoco puede ser adecuadamente descrito con palabras: «Brahman el sin principio, el supremo, el que está más allá de lo que es y de lo que no es[3]». «Esa Alma suprema es incomprensible, ilimitada, no nacida, no se puede razonar, es impensable[4]». Sin embargo, la gente desea hablar de esta realidad y los sabios hindúes con su característica inclinación hacia el mito representaron a *Brahman* como la divinidad y hablan de él en lenguaje mitológico. A los diversos aspectos de la divinidad se les han dado los nombres de varios dioses venerados por los hindúes, pero las escrituras aclaran que todos estos dioses no son sino reflejos de la única realidad última:

> La gente dice: «¡Adora a este dios!, ¡adora a aquel!» —uno después de otro—, pero todo es la creación de Brahman. Y él mismo es todos los dioses[5].

La manifestación de *Brahman* en el alma humana es llamada *atman* y la idea de que *atman* y *Brahman*, la realidad individual y la realidad última, son una misma cosa constituye la esencia de los *Upanishads*:

> Aquello que es la más fina esencia —el alma de todo este mundo—.
> Esa es la Realidad. Eso es *atman*. Eso eres tú[6].

El tema básico constantemente repetido en la mitología hindú es la creación del mundo mediante el autosacrificio de Dios —«sacrificio» en el sentido general de «sacralizar»—: Dios se convierte en el mundo, el cual, al final, vuelve a ser Dios de nuevo. A esta actividad creativa de la divinidad se la llama *lila*, el juego o el teatro de Dios, y el mundo se considera el escenario de la obra divina. Como la mayor parte de la mitología hindú, el mito de *lila* tiene un fuerte componente mágico. *Brahman* es el gran mago que se transforma en el mundo y realiza esta hazaña con su «mágico poder creativo», y este es el significado original dado a *maya* en el *Rig Veda*. La palabra *maya* —uno de los términos más importantes en la filosofía hindú— ha ido cambiando su significado con el paso de los siglos. De ser el «poder» o la «fuerza» del actor y mago divino, llegó a significar el estado psicológico de cualquiera que se halle bajo el encanto de su obra mágica. Mientras confundamos los millones de formas de la divina *lila* con la realidad, sin percibir la unidad de *Brahman* subyacente en todas estas formas, estaremos bajo el encanto de *maya*.

Así, *maya* no significa que el mundo sea una ilusión, como equivocadamente se afirma con frecuencia. La ilusión radica simplemente en nuestro punto de vista, si creemos que las formas y las estructuras, las cosas y los sucesos que nos rodean son realidades de la naturaleza, en lugar de darnos cuenta de que son conceptos de nuestra mente, que todo lo mide y clasifica. *Maya* es la ilusión de tomar esos conceptos por la realidad, la ilusión de confundir el mapa con el territorio.

Bajo el punto de vista hindú de la naturaleza, todas las formas son la relativa, fluida y siempre cambiante *maya*, conjuradas por el gran mago de la obra divina. El mundo de *maya* cambia continuamente porque la divina *lila* es una obra rítmica y dinámica. La fuerza dinámica de esa obra es el *karma*, otro concepto importante del pensamiento hindú. *Karma* quiere decir «acción». Es el principio activo de la obra, el universo total en acción, donde todo está dinámicamente relacionado con todo lo demás. En palabras del *Gita*: «Karma es la fuerza de la creación, de donde obtienen su vida todas las cosas[7]».

El significado de *karma* como el de *maya*, ha degenerado desde su nivel cósmico original hasta el nivel humano, donde adquirió un sentido psicológico. Mientras tengamos una visión del mundo fragmentada, mientras estemos bajo el encanto de *maya* y pensemos que estamos separados de nuestro entorno y que podemos actuar independientemente, estaremos atados por el *karma*. Liberarnos de los lazos del *karma* significa darnos cuenta de la unidad y la armonía de toda la naturaleza, incluyéndonos a nosotros mismos, y significa también actuar en consecuencia. El *Gita* es muy claro sobre este punto:

> Todas las acciones tienen lugar en el tiempo por la interacción de las fuerzas de la naturaleza, pero el hombre perdido en su egoísta ilusión cree que él es el actor. Sin embargo, el hombre que conoce la relación entre las fuerzas de la naturaleza y los actos ve cómo algunas fuerzas de la naturaleza actúan sobre otras fuerzas de la naturaleza, y no se convierte en su esclavo[8].

Liberarse del encanto de *maya* y romper los lazos del karma significa darse cuenta de que todos los fenómenos que percibimos con nuestros sentidos son parte de la misma realidad. Significa experimentar, de una manera concreta y personal, que todo, incluyendo nuestro propio yo, es *Brahman*. A esta experiencia en la filosofía hindú se la llama *moksha* o liberación, y constituye la pura esencia del hinduismo.

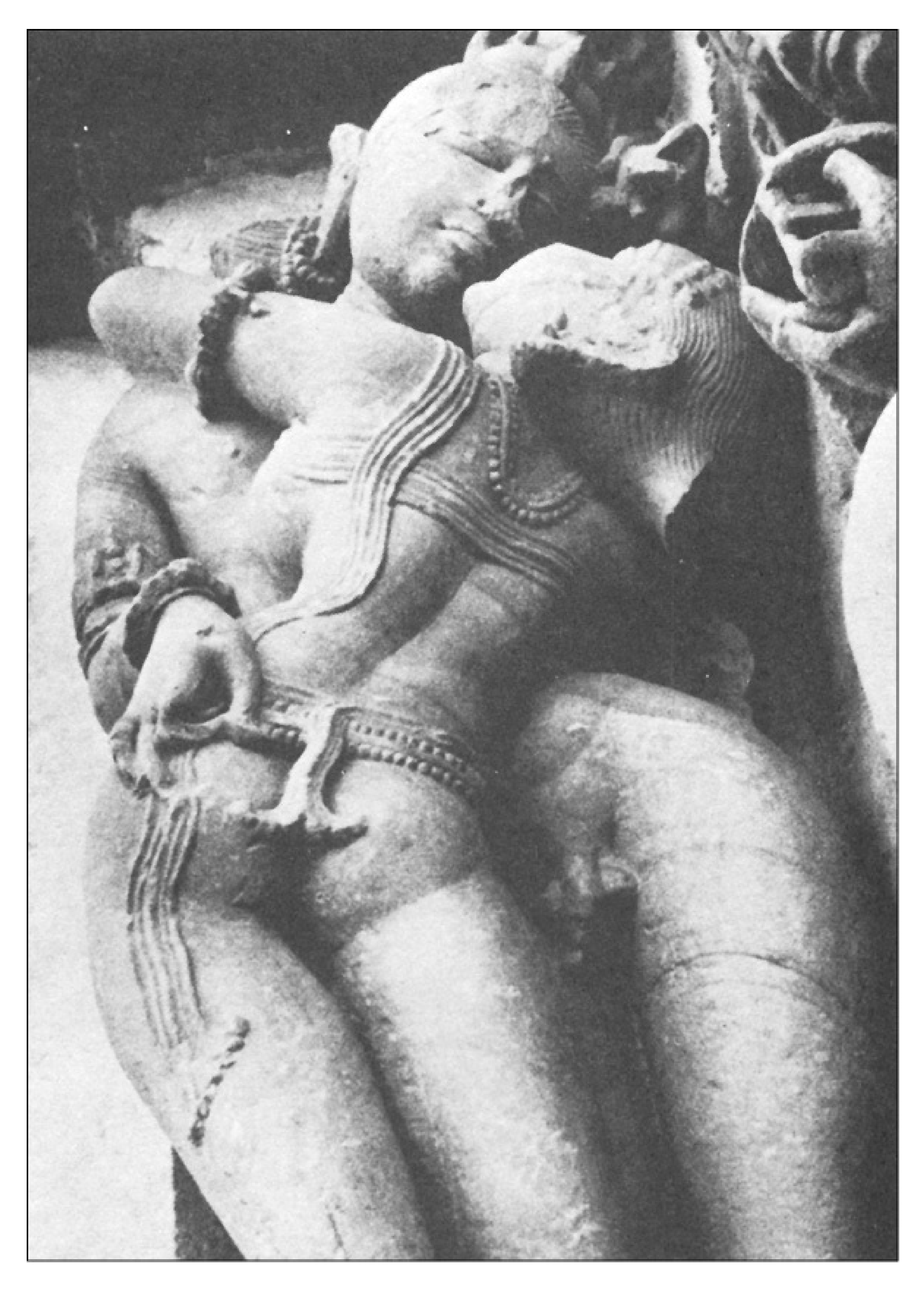
El hinduismo dice que existen innumerables formas de liberación. No espera que todos sus seguidores se acerquen a la divinidad del mismo modo y, por tanto, proporciona diferentes conceptos, rituales y ejercicios espirituales, adecuados para los distintos modos de conciencia. El hecho de que muchos de estos conceptos o prácticas sean contradictorios no preocupa a los hindúes en lo más mínimo, porque saben que *Brahman* se encuentra más allá de los conceptos y de las imágenes. De esta actitud procede la gran tolerancia y eclecticismo característicos del hinduismo.

La escuela hinduista más intelectual es la Vedanta, que está basada en los *Upanishads* y que acentúa a *Brahman* como un concepto impersonal y metafísico, libre de todo contenido mitológico. Sin embargo, pese a su alto nivel filosófico e intelectual, la forma de liberación vedántica es muy diferente de la que pueda presentar cualquier escuela de filosofía occidental, e incluye la meditación diaria y otros ejercicios que posibilitarán la unión con *Brahman*.

Otro importante método de liberación es el conocido con el nombre de yoga, que significa «acoplar» o «unir» y que se refiere a la unión del alma individual con *Brahman*. Existen varias escuelas o «senderos» de yoga que incluyen algunos entrenamientos físicos básicos y varias disciplinas mentales ideadas para personas de diferentes tipos y de distintos niveles espirituales.

Para el hindú común, la forma más popular de acercarse a la divinidad es adorarla en forma de un dios o diosa personal. La fértil imaginación hindú ha creado miles de deidades, que aparecen en innumerables manifestaciones. Las tres divinidades más veneradas en la India actualmente son Shiva, Vishnú y la Madre Divina. Shiva es uno de los más antiguos dioses hindúes, que puede asumir muchas formas. Se le llama *Mahesvara*, el Gran Señor, cuando se representa como la personificación de la plenitud de *Brahman*, aunque puede también personificar muchos aspectos individuales de la divinidad, y su más célebre apariencia es la de *Nataraja*, el Señor de los Danzantes. Como bailarín cósmico, Shiva es el dios de la creación y de la destrucción, que con su danza mantiene el ritmo sin fin del universo.

Vishnú aparece también bajo muchos disfraces; uno de ellos es el dios Krishna del *Bhagavad Gita*. En general, el papel de Vishnú es el de preservador del universo. La tercera divinidad de esta tríada es Shakti, la Madre Divina, la diosa arquetípica que representa, en sus diversas formas, la energía femenina del universo.



Escultura en piedra. Khajuraho (India). Siglo XI.

Shakti también aparece como esposa de Shiva y algunas veces se muestra a ambos en apasionado abrazo, en magníficas esculturas religiosas que irradian

una extraordinaria sensualidad, algo completamente desconocido en cualquier arte religioso occidental. Al contrario que en la mayor parte de las religiones occidentales, en el hinduismo el placer sensual nunca fue suprimido, porque el cuerpo siempre se ha considerado como parte integrante del ser humano y no como algo separado del espíritu. El hindú, por tanto, no intenta controlar los deseos del cuerpo mediante la voluntad consciente, sino que pretende realizarse a sí mismo con todo su ser, cuerpo y mente. Incluso dentro del hinduismo se desarrolló una rama, el tantrismo medieval, en el que se buscaba la iluminación a través de una profunda experiencia de amor sensual «donde cada uno es ambos», de acuerdo con las palabras de los *Upanishads*.

> Al igual que un hombre al abrazar a su amada esposa no sabe nada de lo de dentro ni de lo de fuera, del mismo modo la persona, en su abrazo con el Alma inteligente, no sabe nada de lo de dentro ni de lo de fuera[9].

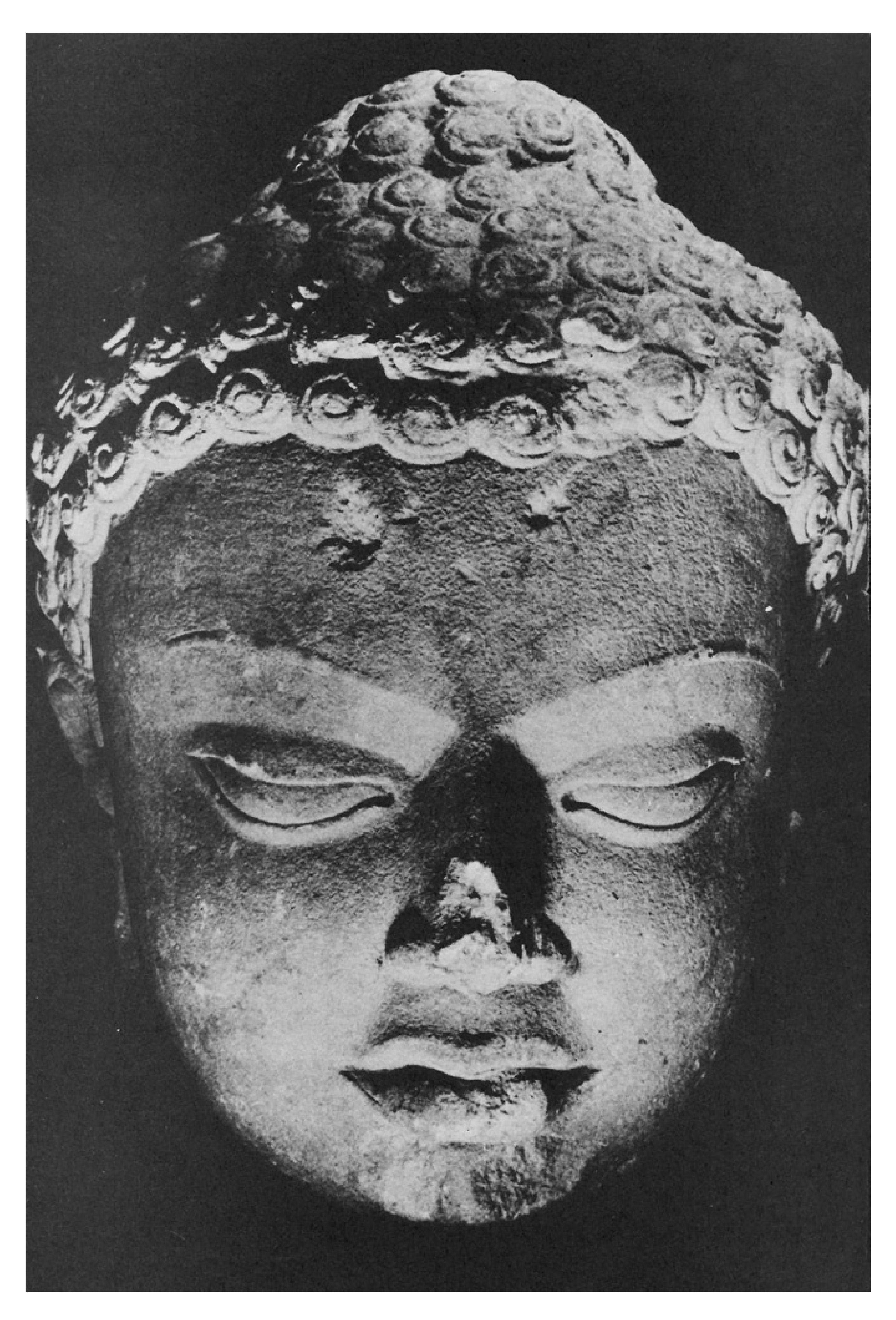
Shiva estaba estrechamente relacionado con esta forma medieval de misticismo erótico, y lo mismo sucedía con Shakti y otras numerosas deidades femeninas que abundan en la mitología hindú. Esta abundancia de diosas muestra una vez más que en el hinduismo el lado físico y sensual de la naturaleza humana, que siempre se ha asociado con lo femenino, es una parte integrante de la divinidad. Las diosas hindúes no suelen aparecer como vírgenes santas, sino en abrazos sensuales de asombrosa belleza.

La mentalidad occidental se confunde con facilidad entre el fabuloso número de dioses y diosas que llenan la mitología hindú, en sus diversos aspectos y encarnaciones. Para comprender cómo pueden los hindúes entenderse con esta multitud de divinidades, debemos ser conscientes del fundamento del hinduismo: en esencia todas estas divinidades son idénticas. Todas son manifestaciones de la misma realidad divina, que refleja diferentes aspectos de lo infinito, del omnipresente y —finalmente— incomprensible *Brahman*.

6

BUDISMO

Durante muchos siglos, el budismo fue la tradición espiritual dominante en la mayor parte de Asia, incluyendo Indochina, así como Sri Lanka, Nepal, Tíbet, China, Corea y Japón. Al igual que el hinduismo en la India, tuvo una fuerte influencia sobre la vida intelectual, cultural y artística de todas estas zonas. Sin embargo, a diferencia del hinduismo, el budismo tiene un solo fundador. Siddharta Gautama, el llamado Buda «histórico», vivió en la India a mediados del siglo VI a. de C., durante el extraordinario período que vio el nacimiento de tantos genios espirituales y filosóficos: Confucio y Lao Tse en China, Zaratustra en Persia y Pitágoras y Heráclito en Grecia.



Rostro de Buda, India. Siglo V.

Mientras el sabor del hinduismo es mitológico y ritualista, el del budismo es definitivamente psicológico. Buda no estaba interesado en satisfacer la curiosidad humana sobre el origen del mundo, la naturaleza de la divinidad o asuntos similares. Le interesaba exclusivamente la situación del hombre, el sufrimiento y las frustraciones de los seres humanos. Su doctrina, por lo tanto, no fue una doctrina metafísica, sino más bien de psicoterapia. Mostró el origen de las frustraciones humanas y enseñó la forma de vencerlas, aprovechando los tradicionales conceptos indios de *maya*, karma, nirvana y otros, y dándoles una interpretación nueva, dinámica, psicológica y directa.

Tras la muerte de Buda, el budismo se desarrolló dentro de dos escuelas principales, la escuela Hinayana y la escuela Mahayana. La Hinayana, o Pequeño Vehículo, es una escuela ortodoxa que se ajusta al pie de la letra a la enseñanza de Buda, mientras que la Mahayana, o Gran Vehículo, muestra una actitud mucho más flexible, en la creencia de que el espíritu de la doctrina es más importante que su formulación original. La escuela Hinayana se estableció en Ceilán, Burma y Tailandia, mientras que la Mahayana se extendió a Nepal, Tíbet, China y Japón, convirtiéndose finalmente en la más importante de las dos escuelas. En la India, tras unos cuantos siglos, el flexible y asimilador hinduismo adoptó a Buda finalmente como una encarnación del polifacético dios Vishnú.

El budismo Mahayana, al extenderse por Asia, entró en contacto con gentes de muy diferentes culturas y mentalidades, quienes interpretaron la doctrina de Buda desde su propio punto de vista, elaborando muchas de sus sutilezas con gran detalle y añadiendo sus propias ideas originales. De esta manera, el budismo se conservó vivo con el paso de los siglos, desarrollando una filosofía altamente sofisticada, con profundos aspectos psicológicos.

A pesar de su alto nivel intelectual, el budismo Mahayana nunca se pierde en pensamientos especulativos y abstractos. Como siempre ocurre en el misticismo oriental, el intelecto es considerado simplemente como un medio para limpiar el camino hacia la experiencia mística directa, a la que los budistas llaman «el despertar». La esencia de esta experiencia es ir más allá del mundo de las diferencias y de los opuestos intelectuales, para llegar al mundo de *acintya*, lo impensable, donde la realidad se muestra como una eseidad simple, no dividida e indiferenciada.

Esta fue la experiencia que Siddharta Gautama tuvo una noche, después de siete años de agotadora disciplina en los bosques. Sentado en profunda meditación bajo el célebre árbol Bodhi, el Árbol de la Iluminación, logró de pronto la final y definitiva aclaración de todas sus indagaciones y sus dudas,

en el acto del «insuperado y completo despertar», que lo convirtió en el Buda, es decir, «el Iluminado». Para el mundo oriental, la imagen del Buda en estado de meditación es tan significativa como la imagen del Cristo crucificado para Occidente, y ha inspirado a incontables artistas de toda Asia, quienes han creado magníficas esculturas de Budas en meditación.

Según la tradición budista, inmediatamente después de su iluminación, Buda fue al Parque del Ciervo, de Benarés, para predicar la doctrina a sus primeros compañeros eremitas. La expresó en la célebre forma de las Cuatro Nobles Verdades, compacta presentación de su doctrina esencial que no difiere de la exposición que haría un médico, quien primero identifica la causa de los males de la humanidad, después afirma que pueden ser curados y finalmente prescribe el remedio adecuado.

La Primera Noble Verdad establece la característica sobresaliente de la situación humana, *duhkha*, el sufrimiento o la frustración. Esta frustración tiene su origen en nuestra dificultad para enfrentarnos al hecho básico de la vida: que todo cuanto existe a nuestro alrededor es impermanente y transitorio. «Todas las cosas aparecen y se desvanecen[1]», dijo Buda, y la idea de que el flujo y el cambio son los rasgos básicos de la naturaleza constituye la raíz misma del budismo. El sufrimiento surge, desde el punto de vista budista, cada vez que nos oponemos al flujo de la vida e intentamos aferrarnos a formas fijas que son todas *mayas*, ya se trate de objetos, sucesos, personas o ideas. Esta doctrina de impermanencia incluye también el concepto de que no existe ego, ni «yo» alguno, que sea el sujeto permanente de nuestras cambiantes experiencias.

El budismo dice que la idea de un yo individual y separado es una ilusión, otra forma de *maya*, que es un concepto intelectual desprovisto de realidad. Aferrarse a este concepto conduce a la misma frustración que el apego a cualquier otro tipo fijo de pensamiento.

La Segunda Noble Verdad trata sobre la causa del sufrimiento, *trisnha*, el apego: el inútil asimiento a la vida, basado en un punto de vista equivocado llamado en la filosofía budista *avidya*, o ignorancia. A causa de esta ignorancia, dividimos el mundo en cosas individuales y separadas, y de este modo intentamos confinar las fluidas y cambiantes formas de la realidad en categorías determinadas, creadas por la mente. Mientras prevalezca esta manera de ver, estaremos destinados a experimentar frustración tras frustración, tratando de apegarnos a cosas que vemos firmes y sólidas, pero que de hecho son pasajeras y siempre cambiantes; estaremos atrapados en un círculo vicioso en el que cada acto generará más actos y la respuesta a cada

pregunta originará nuevas preguntas. Este círculo vicioso se conoce en el budismo como *samsara*, el círculo del nacimiento y la muerte, dibujado por el karma, la cadena sin fin de causas y efectos.

La Tercera Noble Verdad afirma que el sufrimiento y la frustración pueden terminarse. Es posible trascender el círculo vicioso del *samsara*, es posible liberarse del cautiverio del karma y alcanzar un estado de total liberación llamado *nirvana* En este estado, los falsos conceptos de un yo separado desaparecen para siempre y la unidad de toda la vida se convierte en una vivencia constante. El nirvana es el equivalente del *moksha* de la filosofía hindú y, al ser un estado de conciencia que trasciende los conceptos intelectuales, se resiste a toda descripción. Alcanzar el nirvana es obtener el despertar, la iluminación, el espíritu de Buda.

La Cuarta Noble Verdad es la prescripción de Buda para terminar con todo sufrimiento, el Óctuple Camino de autodesarrollo que conduce al estado espiritual de Buda. Las dos primeras etapas de este camino, como ya he mencionado, están relacionadas con el bien ver y bien saber, es decir, con una clara percepción de la situación humana, que constituye el necesario punto de partida. Las cuatro etapas siguientes tienen que ver con la correcta forma de actuar. Dan las reglas de vida para el sendero budista, un Sendero Medio que transcurre entre extremos opuestos. Las dos últimas etapas están relacionadas con la verdadera conciencia y la correcta meditación y describen la experiencia mística directa de la realidad, que constituye la meta final.

Buda no desarrolló su doctrina en un sistema filosófico consistente, sino que simplemente la consideró un medio para alcanzar la iluminación. Sus afirmaciones sobre el mundo estaban destinadas a resaltar la impermanencia de todas las «cosas». Insistía en que debemos liberarnos de toda autoridad espiritual, incluyendo la suya propia, y manifestaba que él solo podía mostrar el camino que lleva a lograr el espíritu de Buda, siendo responsabilidad de cada individuo seguir o no por este camino con su propio esfuerzo. Sus últimas palabras en su lecho de muerte reflejan su visión del mundo y su actitud como maestro: «La decadencia es inherente a todas las cosas compuestas; esforzaos diligentemente[2]».

En los primeros siglos después de la muerte de Buda se celebraron varios grandes concilios, por parte de los monjes dirigentes del budismo, en los que se restableció la totalidad de la enseñanza y surgieron ya diferencias de interpretación. En el cuarto de estos concilios, que tuvo lugar en la isla de Ceilán en el siglo I de nuestra era, la doctrina, que se había transmitido de palabra durante más de quinientos años, fue por vez primera recogida por

escrito. Este documento, escrito en lengua pali, es conocido como el *Canon Pali* y constituye la base de la escuela ortodoxa Hinayana. La escuela Mahayana, por otro lado, está basada en un determinado número de sutras, textos de extensas dimensiones, escritos en sánscrito cien o doscientos años después, que presentan la enseñanza de Buda de una manera más sutil y elaborada que el *Canon Pali*.

La escuela Mahayana se llama a sí misma el Gran Vehículo del budismo porque ofrece a sus seguidores una gran variedad de métodos o «medios útiles» para alcanzar el espíritu de Buda. Dicha variedad incluye desde doctrinas basadas en la fe religiosa y en las enseñanzas de Buda hasta elaboradas filosofías que implican conceptos muy similares a los del pensamiento científico moderno.

El primer predicador de la doctrina Mahayana y uno de los más profundos pensadores y patriarcas budistas fue Ashvaghosha, quien vivió en el siglo I de nuestra era. Difundió los pensamientos fundamentales del budismo Mahayana, en particular los referentes al concepto budista de la «eseidad», en un libro llamado *El despertar de la fe*. Este texto, lúcido y en extremo hermoso, que en muchos aspectos recuerda al *Bhagavad Gita*, constituye el primer tratado de la doctrina Mahayana y se convirtió en la principal referencia para todas las escuelas del budismo Mahayana.

Probablemente tuviera Ashvaghosha una fuerte influencia sobre Nagarjuna, el filósofo mahayana más intelectual, quien empleó una dialéctica altamente sofisticada a fin de mostrar las limitaciones de todos los conceptos de la «realidad». Con brillantes argumentos, derribó las propuestas metafísicas de su tiempo, demostrando que la realidad última no se puede comprender por medio de conceptos e ideas. Por ello, le dio el nombre *sunyata*, el vacío o vacuidad, término equivalente al *tathata* de Ashvaghosha. Una vez reconozcamos la futilidad de todo pensamiento conceptual, experimentaremos la realidad como eseidad pura.

La afirmación de Nagarjuna en el sentido de que la naturaleza esencial de la realidad es el vacío no es la afirmación nihilista por la que siempre se la suele tomar. Simplemente significa que todos los conceptos sobre la realidad formados por la mente humana están, finalmente, vacíos. La realidad o vacuidad misma no es un estado de simple nada, sino la misma fuente de toda vida y la esencia de todas las formas.

Los puntos de vista del budismo Mahayana presentados hasta ahora reflejan su lado intelectual y especulativo. Esto, sin embargo, conforma solo una parte del budismo. El complemento de esta es la conciencia religiosa del

budista, que implica fe, amor y compasión. La verdadera sabiduría de la iluminación (*bodhi*) se considera en el budismo Mahayana compuesta de dos elementos que D. T. Suzuki llamó «los dos pilares sobre los que se apoya el gran edificio del budismo». Son *prajna*, el conocimiento trascendental o la inteligencia intuitiva, y *karuna*, el amor y la compasión.

Así, la naturaleza esencial de todas las cosas es descrita por el budismo Mahayana no solo en los términos metafísicos y abstractos de eseidad y vacío, sino también mediante el término *dharmakaya*, el cuerpo del ser, que se refiere a la realidad tal como aparece ante la conciencia religiosa budista.

El *dharmakaya* es similar al *Brahman* del hinduismo. Impregna todas las cosas materiales del universo y está también reflejado en la mente humana como *bodhi*, el conocimiento iluminado, siendo así material y espiritual al mismo tiempo.

La importancia del amor y la compasión como partes esenciales de la sabiduría budista encontraron su más elevada expresión en el ideal del *bodhisattva*, una de las ideas características del budismo Mahayana. Un *bodhisattva* es un ser humano altamente evolucionado, en camino de convertirse en Buda, que no busca la iluminación solo para sí mismo, sino que ha prometido solemnemente ayudar a todos los demás seres a alcanzar el espíritu búdico, antes de entrar él en el nirvana. El origen de esta idea radica en la decisión del Buda —presentada en la tradición budista como una decisión consciente y en absoluto fácil— de no entrar simplemente en el nirvana, sino, en lugar de ello, regresar al mundo con el fin de mostrar el camino de la salvación a sus congéneres, los seres humanos. El ideal del *bodhisattva* concuerda también con la doctrina budista del no ego, pues si no existe un yo individual separado, la idea de entrar de un modo individual en el nirvana no tiene obviamente mucho sentido.

Por último, el elemento de la fe es acentuado en la escuela del budismo Mahayana llamada de la Tierra Pura. Esta escuela está basada en la doctrina budista según la cual la naturaleza original de todos los seres humanos es la de Buda y, según ella, para entrar en el nirvana o «Tierra Pura» todo lo que se debe hacer es tener fe en que nuestra naturaleza original es la de Buda.

Según muchos autores, la culminación del pensamiento budista la alcanzó la escuela Avatamsaka, basada en el sutra del mismo nombre. Este sutra está considerado el centro del budismo Mahayana, y Suzuki lo elogia con entusiastas palabras:

> En cuanto al *Sutra Avatamsaka*, es realmente la consumación del pensamiento budista, del sentimiento budista y de la experiencia budista. En mi opinión, ninguna literatura religiosa del mundo podrá jamás compararse con la grandeza de concepción, la profundidad del sentimiento y la gigantesca escala de composición alcanzada en este sutra. Es la fuente eterna de la vida, de la cual ninguna mente religiosa regresará sedienta o solo parcialmente satisfecha[3].



Tintero, por Ch’eng Chung-Fang. Siglo XVIII.

Fue este sutra el que estimuló las mentes chinas y japonesas más que ningún otro al extenderse por Asia el budismo Mahayana. El contraste entre los chinos y los japoneses, por un lado, y los indios por otro es tan grande que se ha dicho que representan los dos polos de la mente humana. Mientras que los primeros son prácticos, pragmáticos y con una mentalidad social, los últimos son imaginativos, metafísicos y trascendentales. Cuando los filósofos chinos y japoneses comenzaron a traducir e interpretar el *Sutra Avatamsaka*, uno de los más importantes textos producidos por el genio religioso de la India, estos dos polos se combinaron para formar una nueva unidad dinámica y el resultado fue la filosofía Hua-yen en China y la filosofía Kegon en Japón, que constituyen, según Suzuki, «el punto culminante del pensamiento budista desarrollado en el Extremo Oriente durante los últimos dos mil años[4]».

El tema central del *Sutra Avatamsaka* es la unidad e interrelación existente entre todas las cosas y sucesos, concepción que no es solo la esencia de la visión oriental del mundo, sino también uno de los elementos básicos de la idea del universo surgida de la física moderna. Así, veremos que este sutra presenta el más sorprendente paralelismo con los modelos y teorías de la física moderna.

7

EL PENSAMIENTO CHINO

Cuando el budismo llegó a China, aproximadamente hacia el siglo I de nuestra era, se encontró allí con una cultura que tenía ya más de dos mil años de antigüedad. En esta antigua cultura, el pensamiento filosófico había alcanzado su punto culminante durante el último período Chou (500-221 a. de C.), edad de oro de la filosofía china, y desde entonces el budismo ha ocupado un lugar preponderante dentro de la filosofía y la cultura chinas.

Ya en un principio, esta filosofía tuvo dos aspectos complementarios. Siendo los chinos gente práctica y con una conciencia social altamente desarrollada, todas sus escuelas filosóficas estaban interesadas, de un modo u otro, en la vida en sociedad, las relaciones humanas, los valores morales y el gobierno. Sin embargo, esto es solo un aspecto del pensamiento chino. Como complemento a él se encuentra el aspecto místico del carácter chino, para el cual la más elevada meta de la filosofía debía trascender el aspecto social y la vida cotidiana, alcanzando un plano de conciencia más elevado: el plano del sabio, ideal chino del hombre iluminado que ha logrado su unión mística con el universo.

El sabio chino, sin embargo, no mora en exclusiva en ese elevado plano espiritual, sino que se interesa igualmente en los asuntos mundanos. Unifica en sí mismo las dos partes complementarias de la naturaleza humana —sabiduría intuitiva y conocimiento práctico, contemplación y acción social—, unidad que los chinos han relacionado siempre con la imagen del sabio y del rey. Los seres humanos totalmente realizados, en palabras de Chuang Tzu, «a través de su inmovilidad se hacen sabios, y por su movimiento, reyes[1]».

Durante el siglo VI a. de C., estos dos aspectos de la filosofía china evolucionaron, dando lugar a dos escuelas filosóficas distintas: el confucionismo y el taoísmo. El confucionismo era la filosofía de la organización social, del sentido común y del conocimiento práctico. Facilitaba a la sociedad china un sistema educativo y al mismo tiempo

estrictas normas de etiqueta social. Una de sus principales finalidades era formar una base ética para la familia china tradicional, con su compleja estructura y sus rituales de adoración a los antepasados. El taoísmo, sin embargo, se interesaba principalmente en la observación de la naturaleza y en el descubrimiento de su Camino o *Tao*. La felicidad humana, según los taoístas, se logra cuando los hombres siguen el orden natural, obrando espontáneamente y confiando en su conocimiento intuitivo.

Estas dos tendencias de pensamiento representan los extremos opuestos dentro de la filosofía china, pero siempre fueron considerados polos de la misma y única naturaleza humana y, por lo tanto, complementarios. El confucionismo generalmente resaltaba la educación de los hijos, quienes tenían que aprender las reglas y convenciones necesarias para la vida en sociedad, mientras que el taoísmo solía atraer más a la gente mayor, deseosa de recuperar y desarrollar su espontaneidad original, erosionada por los convencionalismos sociales. En los siglos XI y XII, la escuela neoconfucionista intentó sintetizar en un todo el confucionismo, el budismo y el taoísmo, culminando en la filosofía de Chu Hsi, uno de los más grandes pensadores chinos. Chu Hsi fue un sobresaliente filósofo, que combinó la erudición confucionista con una comprensión profunda del budismo y del taoísmo e incorporó elementos de estas tres tradiciones en su síntesis filosófica.

El confucionismo deriva su nombre de Kung Fu Tzu, o Confucio, maestro muy prestigioso y con gran número de discípulos, quien consideró que su principal función era la de transmitir la antigua herencia cultural china a sus seguidores. Sin embargo, hizo más que transmitir simplemente un conocimiento, pues interpretó las ideas tradicionales de acuerdo con sus propios conceptos morales. Sus enseñanzas estaban basadas en los denominados Seis Clásicos, antiguos libros filosóficos, rituales, de poesía, música e historia, que representaban la herencia espiritual y cultural de los «santos sabios» del pasado. La tradición china relaciona a Confucio con todas estas obras, ya sea como autor, comentador o editor; sin embargo, según la moderna erudición Confucio no fue ni autor, ni comentador, ni tan siquiera editor de ninguno de los clásicos. Sus ideas llegaron a conocerse a través del *Lun Yü* o *Analectas*, colección de aforismos recopilada por algunos de sus discípulos.

El creador del taoísmo fue Lao Tse, cuyo nombre literalmente significa «El Viejo Maestro» y que fue, según la tradición, contemporáneo de Confucio, aunque bastante mayor que este. Se dice que fue el autor de un breve libro de aforismos que se considera el principal texto taoísta. En China,

normalmente se lo denomina simplemente *Lao-Tse* mientras que en Occidente es usualmente conocido como *Tao Te King* Ya he mencionado el estilo paradójico y el potente y poético lenguaje de este libro, que Joseph Needham considera «la más profunda y bella obra de la lengua china[2]».

El segundo libro taoísta en importancia es el *Chuang-Tzu*, mucho más extenso que el *Tao Te King*, cuyo autor, Chuang Tzu, se dice que vivió doscientos años después que Lao Tse. Según la moderna erudición, tanto el *Chuang-Tzu* como probablemente también el *Lao-Tse* no pueden ser considerados obras de un solo autor, sino que más bien constituyen una colección de escritos taoístas, recopilados por diferentes autores en épocas también diferentes.

Tanto los fragmentos literarios confucionistas como el *Tao Te King* están escritos en un estilo sugestivo y compacto, típico de la forma de pensar china. La mentalidad china no era muy dada al pensamiento abstracto, y así desarrolló un lenguaje que resulta muy diferente del que evolucionó en Occidente. Muchas de sus palabras podían emplearse indistintamente como nombres, adjetivos o verbos, y su secuencia no estaba determinada por reglas gramaticales, sino por el contenido emocional de la frase. La palabra china clásica era muy diferente de nuestros signos abstractos que representan conceptos claramente delimitados. Se trataba más bien de un símbolo-sonido que poseía una gran carga sugestiva y evocaba un complejo indeterminado de imágenes pictóricas y de emociones. La intención del orador no era expresar una idea intelectual, sino más bien afectar e influenciar al oyente. De acuerdo con esto, el carácter escrito no era simplemente un signo abstracto, sino un patrón orgánico —una *gestalt*[*]— que conservaba todo el complejo de imágenes y todo el poder sugestivo de la palabra.

Al expresarse los filósofos chinos en un lenguaje tan adecuado a su forma de pensar, sus escritos y proverbios podían ser breves e inarticulados y, pese a ello, ricos en imágenes sugestivas. Es evidente que muchas de estas metáforas se pierden al realizar su traducción a otra lengua. Una traducción de una frase del *Tao Te King*, por ejemplo, solo podrá representar una pequeña parte del rico complejo de ideas contenidas en el original, y esta es la razón por la cual las diferentes traducciones de este polémico libro con frecuencia dan la impresión de referirse a textos distintos. Como ha afirmado Fung Yu-Lan: «Sería necesario combinar todas las traducciones hechas hasta ahora y muchas otras todavía no realizadas, para desvelar la riqueza que los fragmentos literarios de Confucio y del *Lao-Tse* tienen en sus formas originales[3]».

Los chinos, al igual que los hindúes, creían que existe una realidad última que sirve de base a la multiplicidad de cosas y acontecimientos que observamos y los unifica:

> Hay tres términos: *completo, todoabarcante* y *total*. Sus nombres son diferentes pero la realidad que todos ellos buscan es la misma: se refieren a la Única cosa**[4]**.

A esta realidad la llamaron *Tao*, que inicialmente significaba «el Camino». Se trata del camino o proceso del universo, del orden de la naturaleza. Posteriormente, los confucionistas le dieron una interpretación diferente. Ellos hablaban sobre el *Tao* del hombre, o el *Tao* de la sociedad humana, y lo entendían como la forma correcta de vida en un sentido moral.

En su sentido original cósmico, el *Tao* es la realidad última, indefinible, y como tal es el equivalente del *Brahman* hinduista o del *Dharmakaya* budista. Difiere de estos conceptos, no obstante, por su cualidad intrínsecamente dinámica que, desde el punto de vista chino, constituye la esencia del universo. El *Tao* es el proceso cósmico en el que todas las cosas se encuentran y el mundo se percibe como un flujo y un cambio continuos.

El budismo hindú, con su doctrina de la impermanencia, tenía un concepto bastante similar, aunque lo tomaba meramente como premisa básica de la situación humana y continuaba elaborando sus consecuencias psicológicas. El chino, sin embargo, no solo creía que el flujo y el cambio eran los rasgos esenciales de la naturaleza, sino también que en estos cambios existían unos patrones constantes, que el hombre debía observar. El sabio reconoce estos patrones y dirige sus obras de acuerdo con ellos. De esta manera, se hace «uno con el *Tao*», viviendo en armonía con la naturaleza y triunfando en todo lo que emprende. En palabras de Huai Nan Tzu, filósofo del siglo II a. de C.:

> El que se conforma al curso del Tao, siguiendo los procesos naturales del Cielo y la Tierra, encuentra fácil dirigir el mundo entero**[5]**.

¿Cuáles son, entonces, esos patrones del Camino cósmico que el hombre tiene que reconocer? La principal característica del *Tao* es la naturaleza cíclica de su movimiento y cambio incesantes. Lao Tse afirma: «El retorno es el movimiento del *Tao*, e ir más allá significa retornar**[6]**». La idea es que todos los sucesos naturales, tanto los del mundo físico como los de las

situaciones humanas, muestran patrones cíclicos de ida y vuelta, de expansión y de contracción.

Sin duda, esta idea fue deducida de los movimientos del Sol y de la Luna, así como de la sucesión de las estaciones, y fue tomada como regla de vida. Los chinos creen que cada vez que una situación se lleva a su punto extremo, está destinada a darse la vuelta y convertirse en su opuesta. Esta creencia básica les ha infundido valor y perseverancia en los momentos de aflicción y los ha hecho cuidadosos y modestos en los momentos de éxito. Los ha conducido a la doctrina del «medio de oro» en la que creen taoístas y confucionistas. Según LaoTse, «el sabio evita los excesos, la extravagancia y el desenfreno[7]».

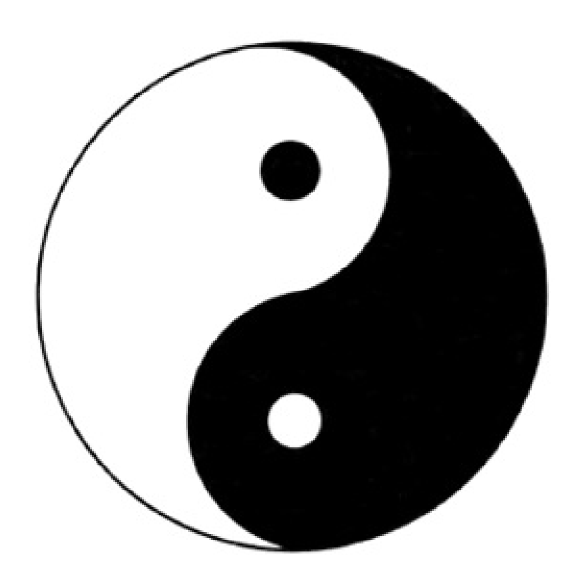
Desde la perspectiva china, es mejor tener poco que tener mucho, y mejor dejar las cosas sin hacer que exagerarlas, porque, aunque de esta manera no se llegará muy lejos, es seguro que se irá en la dirección correcta. Exactamente del mismo modo que el hombre que va siempre hacia el este acabará en el oeste, aquellos que acumulen cada vez más dinero para aumentar su riqueza acabarán siendo pobres. La moderna sociedad industrial, que constantemente está tratando de incrementar el nivel de vida y no consigue sino disminuir la calidad de vida de sus miembros, es una elocuente evidencia de esta antigua sabiduría china.

A la idea de la existencia de unos patrones cíclicos en el movimiento del Tao se le confirió una estructura definitiva mediante la introducción de los opuestos yin y yang. Son los dos polos que establecen los límites a los ciclos de cambio:

> Cuando el yang alcanza su punto culminante, se retira, dejando paso al yin. Cuando el yin alcanza su punto culminante, se retira, dejando paso al yang[8].

Desde el punto de vista chino, todas las manifestaciones del *Tao* son generadas por la interacción dinámica de estas dos fuerzas opuestas. La idea es muy antigua y muchas generaciones trabajaron sobre el simbolismo del arquetípico par yin y yang hasta que se convirtió en el concepto fundamental del pensamiento chino. El significado original de las palabras yin y yang era el de los lados sombreado y soleado de una montaña, significado que da una buena idea de la relatividad de ambos conceptos:

> Aquello que deja aparecer ahora la oscuridad, ahora la luz, eso es el Tao[9].



Desde los tiempos antiguos, los dos polos arquetípicos de la naturaleza fueron representados no solo por luz y oscuridad, sino también por masculino y femenino, firme y blando, arriba y abajo. Yang, lo fuerte, lo masculino, el poder creativo, se relacionó con el Cielo, mientras que yin, la oscuridad, lo receptivo, lo femenino y el elemento materno, estaba representado por la Tierra. El Cielo se halla arriba y en movimiento; la Tierra —según la antigua visión geocéntrica— abajo y en reposo, y de esta manera yang vino a simbolizar el movimiento y yin el reposo. En el reino del pensamiento, yin es la compleja y femenina mentalidad intuitiva, y yang el claro y racional intelecto masculino. Yin es la tranquilidad, la quietud contemplativa del sabio; yang, la fuerte acción creativa del rey.

El carácter dinámico de yin y yang está ilustrado por el antiguo símbolo chino denominado *T'ai-chi T'u* o «diagrama del fin supremo».

Este diagrama es una ordenación simétrica de lo oscuro, yin, y de lo luminoso, yang, pero su simetría no es estática. Es una simetría rotatoria que sugiere, de modo muy enérgico, un continuo movimiento cíclico:

> El yang regresa cíclicamente a su principio; el yin alcanza su punto máximo y genera al yang[10].

Los dos puntos simbolizan la idea de que cada vez que una de las dos fuerzas alcanza su límite, contiene en sí misma la semilla de su opuesta. El

par de yin y yang constituye la base filosófica de toda la cultura china y determina todos los rasgos de su forma de vida tradicional: «La vida —señala Chuang Tzu— es la armonía combinada del yin y el yang[11]». Como nación de granjeros y agricultores, los chinos siempre han estado familiarizados con los movimientos del Sol y de la Luna y con la sucesión de las estaciones. Los cambios estacionales y los fenómenos resultantes de crecimiento y declive que se dan en la naturaleza orgánica fueron considerados por ellos como las más evidentes expresiones de la interacción entre el yin y el yang, entre el frío y oscuro invierno y el luminoso y cálido verano. La interacción alternada de los dos opuestos también se refleja en los alimentos que comemos, que contienen elementos yin y yang. Una dieta saludable consiste, para los chinos, en consumir alimentos que equilibren estos dos elementos.

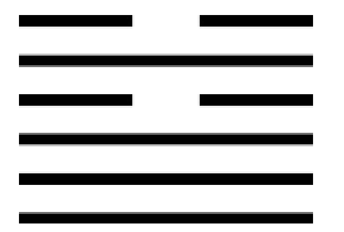
También la medicina tradicional china está basada en el equilibrio yin y yang del cuerpo humano, y cualquier enfermedad se considera una interrupción de este equilibrio. El cuerpo está dividido en partes yin y partes yang. En términos generales, el interior del cuerpo es yang; su superficie, yin; la espalda es yang; la frente, yin; en el interior existen órganos que son yin o yang. El equilibrio entre todas estas partes se mantiene mediante un continuo flujo del *ch'i*, o energía vital, a través de todo el sistema de «meridianos» que contienen los puntos de acupuntura. Cada órgano posee un meridiano relacionado con él, de tal manera que los meridianos yang pertenecen a los órganos yin y viceversa. Siempre que el flujo entre yin y yang quede bloqueado, el cuerpo caerá enfermo, y la enfermedad se cura colocando agujas en los puntos de acupuntura a fin de estimular y restaurar el flujo del *ch'i*.

Esta interacción entre yin y yang, el par primordial de opuestos, constituye el principio que guía todos los movimientos del *Tao*, pero los chinos no se detuvieron ahí. Continuaron estudiando varias combinaciones de yin y de yang que desarrollaron en un sistema de arquetipos cósmicos. Este sistema figura, muy elaborado, en el *I Ching* o *Libro de los Cambios*.

El *Libro de los Cambios* o *Libro de las Mutaciones* es el primero de los seis clásicos confucianos y se trata de una obra que encarna el propio corazón del pensamiento y de la cultura chinos. La autoridad y estima de que ha disfrutado en China durante miles de años se puede solo comparar a las de las escrituras sagradas, como los *Vedas* o la *Biblia*, en otras culturas. El célebre sinólogo Richard Wilhelm comienza la introducción a su traducción del *Libro de las Mutaciones* con las siguientes palabras:

> El *Libro de los Cambios* —en chino *I Ching*— es indiscutiblemente uno de los libros más importantes de la literatura universal. Su origen se remonta a la antigüedad mítica, y ha ocupado la atención de los más destacados eruditos chinos hasta nuestros días. Casi todo lo más significativo y más importante que durante tres mil años tuvo lugar en la historia y en la cultura china obtuvo su inspiración en este libro, o fue, de alguna manera, influenciado por la interpretación de su texto. De modo que bien puede afirmarse con toda tranquilidad que en el I Ching se asienta, elaborada, la más madura sabiduría recogida durante milenios[12].

Así, el *Libro de las Mutaciones* es una obra que ha crecido orgánicamente durante miles de años y está por ello compuesta de muchas capas, procedentes de los períodos más importantes del pensamiento chino. Su punto de partida fue una colección de sesenta y cuatro figuras, o «hexagramas», del siguiente tipo:



Estas figuras, basadas en el simbolismo yin-yang, fueron desde tiempos inmemoriales empleadas como oráculos. Cada hexagrama consiste en seis líneas que pueden ser partidas (yin) o enteras (yang), completando entre los sesenta y cuatro todas las combinaciones posibles. Estos hexagramas, que más adelante se tratarán con mayor detalle, eran considerados arquetipos cósmicos, representantes de los patrones del *Tao* tanto en la naturaleza como en las situaciones humanas. A cada uno de ellos se le dio un nombre y se lo complementó con un breve texto, llamado el Juicio, que indica el curso de acción más apropiado al patrón cósmico en cuestión. La denominada Imagen es otro texto breve, añadido en fecha posterior, que explica con breves palabras el significado del hexagrama, algunas veces de un modo excesivamente poético. Un tercer texto interpreta cada una de las seis líneas del hexagrama en un lenguaje cargado de imágenes míticas que muchas veces resultan difíciles de entender.

Estos tres textos constituyen la parte básica del libro, que se empleaba para la adivinación. Para hallar el hexagrama correspondiente a la situación personal de quien hacía la consulta, se empleaba un elaborado ritual, que

incluía cincuenta tallos de milenrama. La idea era hacer visible en el hexagrama el patrón cósmico de ese momento y aprender a través del oráculo qué línea de conducta era la más adecuada:

> En los *Cambios* hay imágenes que revelar, hay juicios añadidos que interpretar, la buena y la mala fortuna se determinan para decidir[13].

La finalidad de la consulta al *I Ching* no era por tanto simplemente conocer el futuro, sino más bien descubrir la disposición de la situación presente para que pudieran tomarse las medidas adecuadas. Esta actitud elevaba al *I Ching* por encima del nivel de un libro ordinario de adivinación, convirtiéndolo en un libro de sabiduría.

El empleo del *I Ching* como libro de sabiduría es, de hecho, de mayor importancia que su uso oracular. Inspiró, a través de los siglos, a las mentes más brillantes de China, entre ellas a Lao Tse, quien extrajo algunos de sus más profundos aforismos de esta fuente. Confucio lo estudió intensamente y la mayoría de los comentarios del texto que constituyen los últimos estratos del libro pertenecen a su escuela. Estos comentarios, denominados las Diez Alas, combinan la interpretación estructural de los hexagramas con explicaciones filosóficas. En el núcleo de los comentarios confucianos, como en todo el *I Ching*, se encuentra el énfasis sobre el aspecto dinámico de todos los fenómenos. El mensaje esencial del *Libro de los Cambios* es la incesante transformación de todas las cosas y situaciones:

> *Los Cambios* es un libro del cual no podemos mantenernos apartados. Su Tao es siempre cambiante. Alteración, movimiento sin descanso, fluyendo a través de los seis espacios vacíos. Emergiendo y sumergiéndose sin ley establecida, lo firme y lo blando se transforman uno en otro. No se los puede confinar en una regla. Aquí solo el cambio funciona[14].

8

TAOÍSMO

De las dos principales tendencias chinas de pensamiento, el confucionismo y el taoísmo, esta última es la que está más orientada místicamente y por lo tanto resulta la más adecuada para ser comparada con la física moderna. Al igual que el hinduismo y el budismo, el taoísmo se interesa más en la sabiduría intuitiva que en el conocimiento racional. Reconociendo las limitaciones y la relatividad del mundo del pensamiento racional, el taoísmo es, básicamente, una vía de liberación de este mundo y, en este sentido, se lo puede comparar con el yoga o el Vedanta del hinduismo, o con el Óctuple Sendero de Buda. En el contexto de la cultura china, la liberación taoísta significaba muy concretamente una liberación de las estrictas reglas convencionales.

La desconfianza hacia el conocimiento y el razonamiento convencionales es más fuerte en el taoísmo que en cualquier otra escuela de filosofía oriental. Está basada en la firme creencia de que el intelecto humano nunca podrá comprender el *Tao*. En palabras de Chuang Tzu:

> El conocimiento más amplio no Lo conoce necesariamente. El razonamiento no hará hombres sabios en Él.
>
> Los sabios se han decidido contra estos dos métodos[1].

El libro de Chuang Tzu está lleno de pasajes que reflejan el desprecio taoísta hacia el razonamiento y la argumentación. Por eso dice:

> A un perro no se le considera bueno porque ladre bien; a un hombre no se le considera sabio porque hable hábilmente[2].
>
> La disputa es una prueba de que no se ve con claridad[3].

Los taoístas consideraban que el razonamiento lógico formaba parte del mundo artificial del hombre, junto con la etiqueta social y las pautas morales. No tenían el mínimo interés en ese mundo sino que concentraban su atención en la observación de la naturaleza, a fin de discernir las «características del *Tao*». De este modo, desarrollaron una actitud que era esencialmente científica y solo su profunda desconfianza hacia el método analítico les impidió construir apropiadas teorías científicas. Sin embargo, la cuidadosa observación de la naturaleza, combinada con una fuerte intuición mística, condujo a los sabios taoístas a profundas percepciones, que han confirmado las modernas teorías científicas.

Una de las más importantes percepciones taoístas fue la idea de que la transformación y el cambio son rasgos esenciales de la naturaleza. Un pasaje de Chuang Tzu muestra con claridad cómo la importancia fundamental del cambio puede discernirse mediante la observación del mundo orgánico:

> En la transformación y el crecimiento de todas las cosas, cada brote y cada característica tiene su propia forma. En ella está implícita su gradual maduración y su decadencia; el flujo constante de la transformación y el cambio[4].

Los taoístas consideraban todos los cambios que se dan en la naturaleza como manifestaciones de la interrelación dinámica existente entre los opuestos polares yin y yang, y de este modo llegaron a creer que cualquier par de opuestos constituye una relación polar, donde cada uno de los dos polos está dinámicamente unido al otro. Para la mentalidad occidental, esta idea de la unidad implícita de todos los opuestos es extremadamente difícil de aceptar. A nosotros nos parece de lo más absurdo que las experiencias y valores que siempre habíamos considerado contrarios sean, a fin de cuentas, aspectos de una misma cosa. En Oriente, sin embargo, siempre se consideró que para lograr la iluminación es esencial «trascender los opuestos del mundo[5]» y en China la relación polar de todos los opuestos constituye la misma base del pensamiento taoísta. Dice Chuang Tzu:

> «Este» es también «aquel». «Aquel» es también «este» […] Que «aquel» y «este» dejen de ser opuestos constituye la esencia misma del Tao. Solo esta esencia, como un eje, es el centro del círculo, que responde a los cambios sin fin[6].

De la noción de que los movimientos del *Tao* son una interacción continua entre los opuestos, los taoístas dedujeron dos reglas básicas de la conducta humana. Siempre que desees lograr algo, deberás comenzar por su opuesto. Según Lao Tse:

Quien quiera contraer algo, deberá antes expandirlo.

Quien quiera debilitar algo, deberá antes fortalecerlo.
Quien quiera destruir algo, deberá antes levantarlo.
Quien quiera obtener algo, deberá antes haberlo dado.
A esto se llama conocimiento profundo[7].

Por otro lado, siempre que se desee retener algo, deberá admitirse en él algo de su opuesto:

Doblégate y permanecerás erecto. Vacíate y permanecerás lleno. Úsate y permanecerás nuevo[8].

Así vive el sabio que ha alcanzado el punto más elevado, punto desde el cual la relatividad y la relación polar de todos los opuestos es claramente percibida. Estos opuestos incluyen, antes que nada, los conceptos del bien y del mal, que se interrelacionan del mismo modo que el yin y el yang. Reconociendo la relatividad del bien y el mal, así como la de las pautas morales, el sabio taoísta no se esfuerza en lograr el bien, sino que más bien trata de mantener un equilibrio dinámico entre el bien y el mal. Chuang Tzu es muy claro en este punto:

Los dichos: «¿No debemos seguir y honrar lo correcto sin tener nada que ver con lo erróneo?» y «¿No debemos seguir y honrar a aquellos que aseguran el buen gobierno sin tener nada que ver con los que producen desorden?» muestran una falta de conocimiento de los principios del Cielo y de la Tierra y de las diferentes cualidades de las cosas. Es como seguir y honrar al Cielo sin tomar en consideración a la Tierra. Es como seguir y honrar al yin sin preocuparse del yang. Está claro que una conducta así no debe seguirse[9].

Es sorprendente que, al mismo tiempo que Lao Tse y sus seguidores desarrollaban su visión del mundo, los rasgos esenciales de esta cosmovisión fueran también enseñados en Grecia por un sabio de cuyas enseñanzas han llegado hasta nosotros solo fragmentos y que fue, y todavía es, usualmente mal comprendido. Este «taoísta» griego fue Heráclito de Éfeso. Compartió con Lao Tse no solo su énfasis en el continuo cambio, que plasmó en su afirmación de que «todo fluye», sino también el concepto de que todos los cambios son cíclicos. Comparó el orden del mundo con un «fuego siempre vivo, que en cierta medida se enciende y en cierta medida se extingue[10]», imagen muy similar a la idea china del *Tao* en su manifestación cíclica del yin y el yang.

Es fácil ver cómo el concepto de cambio como interacción dinámica de los opuestos condujo tanto a Heráclito como a Lao Tse al descubrimiento de que todos los opuestos son polares, y por lo tanto están unidos. «El camino hacia arriba y el camino hacia abajo son uno y el mismo» y «Dios es día-noche, invierno-verano, guerra-paz, saciedad-hambre[11]», dijo Heráclito. Igual que los taoístas, consideró que todo par de opuestos formaba una unidad y fue muy consciente de la relatividad de todos estos conceptos. Sus palabras «las cosas frías se calientan por sí solas, las calientes se enfrían, lo húmedo se seca, lo seco se humedece[12]» nos recuerdan vivamente a las de Lao Tse: «Lo fácil origina lo difícil […], el silencio armoniza al sonido, el después sigue al antes[13]».

Asombra ver que la gran similitud existente entre las visiones del mundo de estos dos sabios del siglo VI a. de C. no sea generalmente conocida. A Heráclito se le relaciona a veces con la física moderna, pero casi nunca con el taoísmo. Y, sin embargo, es esta relación lo que mejor demuestra que su visión del mundo era la visión de un místico y, por consiguiente, en mi opinión, sitúa los paralelismos existentes entre sus ideas y las de la física moderna en la perspectiva correcta.

Al hablar sobre el concepto taoísta del cambio, es importante advertir que este cambio no se considera consecuencia de fuerza alguna, sino más bien una tendencia innata e inherente en todas las cosas y situaciones. Los movimientos del *Tao* no son forzados, sino que ocurren de un modo natural y espontáneo. La espontaneidad es el principio de acción del *Tao*, y puesto que la conducta humana debe conformarse a él, la espontaneidad debe también ser característica de todos los actos humanos. Actuar así, en armonía con la naturaleza, significa para los taoístas obrar espontáneamente y de acuerdo con la verdadera naturaleza de uno. Significa confiar en nuestra inteligencia

intuitiva, innata en la mente humana, del mismo modo que las leyes del cambio son innatas en todo lo que nos rodea.

Los actos del sabio taoísta, por tanto, nacen de su sabiduría intuitiva, de un modo espontáneo y en total armonía con su entorno. No necesita forzarse a sí mismo, ni a lo que le rodea, sino que simplemente adapta sus obras a los movimientos del *Tao*. En palabras de Huai Nan Tzu:

> Quienes siguen el orden natural fluyen en la corriente del Tao[14].

Esta forma de actuar se denomina en la filosofía taoísta *wu-wei*, término que literalmente significa «no acción», y que Joseph Needham traduce como «abstenerse de toda actividad que vaya contra la naturaleza», justificando su interpretación con una cita de Chuang Tzu:

> La no acción no significa no hacer nada y guardar silencio. Permitamos que todo haga lo que hace naturalmente, a fin de que satisfaga su naturaleza[15].

Si nos abstenemos de actuar en contra de la naturaleza o, como dice Needham, de «ir contra las cosas», nos hallaremos en armonía con el *Tao* y de este modo nuestros actos triunfarán. Este es el significado de las palabras aparentemente absurdas de Lao Tse: «Mediante la no acción todo puede hacerse[16]».

El contraste entre yin y yang no solo constituye el principio básico de la cultura china, sino que también se refleja en las dos tendencias dominantes del pensamiento chino. El confucionismo era racional, masculino, activo y dominante. El taoísmo, sin embargo, resaltaba todo aquello que fuese intuitivo, femenino, místico y flexible. «Es mejor no saber que se sabe» y «El sabio lleva sus asuntos sin acción y da sus enseñanzas sin palabras[17]», dice Lao Tse. Los taoístas pensaban que exteriorizando lo femenino, las cualidades más tiernas de la naturaleza humana, era más fácil llevar una vida perfectamente equilibrada y en armonía con el *Tao*. Esta idea queda resumida en un pasaje de Chuang Tzu que describe una especie de paraíso taoísta:

> El hombre de la antigüedad, cuando todavía no se había desarrollado la condición caótica, compartía la plácida tranquilidad del mundo entero. En aquel tiempo el yin y el yang estaban en armonía y calma;

su descanso y su movimiento discurrían sin ser alterados; las cuatro estaciones tenían sus épocas definidas; nada recibía daño alguno, y ningún ser humano llegaba a un final prematuro. Los hombres poseían la facultad del conocimiento, pero no tenían ocasión de emplearlo. Era el estado de unidad perfecta. En aquel tiempo, no existía la acción por parte de nadie, sino que todo era una manifestación constante de la espontaneidad[18].

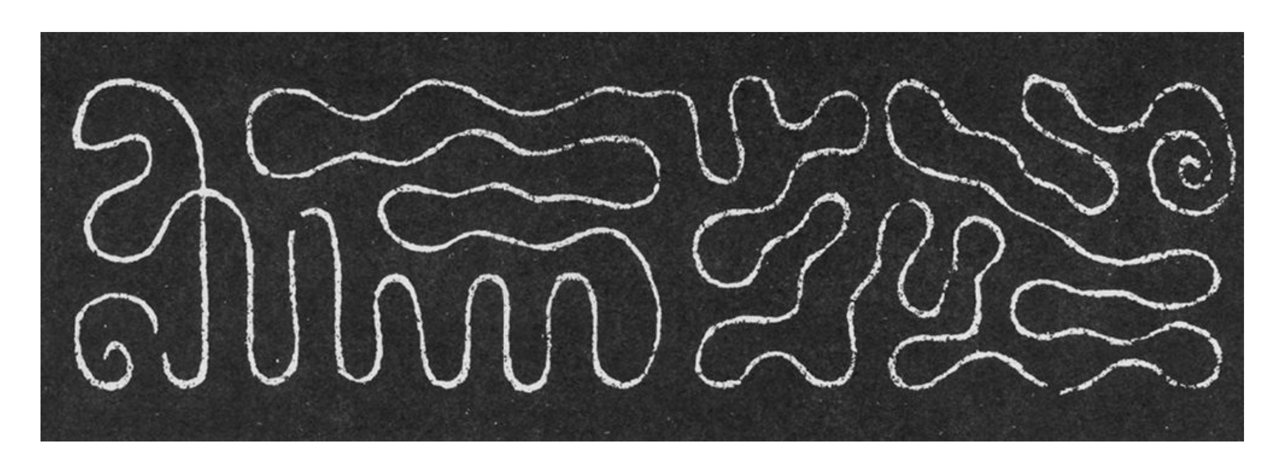


Diagrama mágico, del canon taoísta. Dinastía Sung.

9

ZEN

Al entrar la mentalidad china en contacto con el pensamiento hindú bajo la forma del budismo, alrededor del primer siglo de nuestra era, dos sucesos paralelos tuvieron lugar. Por un lado, la traducción de los *sutras* budistas estimuló a los pensadores chinos y los condujo a interpretar las enseñanzas de Buda de acuerdo con sus propias filosofías. Así apareció un inmensamente fructífero intercambio de ideas que culminó, como ya mencioné antes, con la *Hua-yen* (en sánscrito, *Avatamsaka*), escuela de budismo china, y en Japón con la escuela Kegon.

Al mismo tiempo, el aspecto pragmático de la mentalidad china respondió al impacto del budismo hindú concentrándose en sus aspectos prácticos y desarrollándolos dentro de un tipo especial de disciplina espiritual a la que se dio el nombre de *Ch'an*, término que usualmente se traduce como «meditación». Esta filosofía *Ch'an* fue adoptada por Japón a principios del siglo XIII, y se ha cultivado desde entonces como una tradición viva, hasta la actualidad, con el nombre de zen.

De este modo, el zen es una mezcla de las filosofías y las particularidades de tres culturas diferentes. Es algo típicamente japonés y sin embargo refleja el misticismo de la India, el amor a la naturalidad y a la espontaneidad de los taoístas y el meticuloso pragmatismo de la mentalidad confuciana.

Pese a su carácter tan especial, el zen es puramente budista, porque su finalidad no es otra que Buda mismo: el logro de la iluminación, conocida en zen como *satori*. La experiencia de la iluminación constituye la esencia de todas las escuelas de filosofía orientales, pero el zen es el único en concentrarse exclusivamente en dicha experiencia, sin interesarse en interpretaciones más extensas. En palabras de Suzuki, el «zen es la disciplina de la iluminación». Desde el punto de vista del zen, el despertar de Buda y la enseñanza de Buda, en el sentido de que todo el mundo puede alcanzar ese

despertar, constituyen la esencia del budismo. Todo el resto de la doctrina, expuesto en los voluminosos sutras, se considera algo suplementario.

La experiencia del zen es, pues, la experiencia del *satori* y dado que tal experiencia, a fin de cuentas, trasciende todas las categorías de pensamiento, el zen no muestra ningún interés por la abstracción o la conceptualización. No posee ninguna doctrina especial ni ninguna filosofía, ningún credo formal ni ningún dogma, y sostiene que esta libertad de toda creencia es lo que lo hace verdaderamente espiritual.

Más que ninguna otra escuela de misticismo oriental, el zen está convencido de que las palabras nunca pueden expresar la verdad última. Tal vez heredó esta convicción del taoísmo, que muestra la misma actitud sin compromisos. Según Chuang Tzu: «Si uno pregunta sobre el *Tao* y otro le responde, ninguno de los dos lo conoce[1]».

Sin embargo, la experiencia zen puede transmitirse de maestro a alumno y, de hecho, así ha sido durante muchos siglos mediante métodos especiales propios del zen.

En un clásico resumen de cuatro líneas, el zen es descrito como:

Una transmisión especial fuera de las escrituras.

No basada en palabras y letras.
Que señala directamente hacia la mente humana.
Viendo la naturaleza real y alcanzando el espíritu de Buda.

Esta técnica de «señalamiento directo» constituye el rasgo principal del zen. Es típica de la mentalidad japonesa, más intuitiva que intelectual y que gusta de anunciar los hechos como hechos, sin mucho comentario. Los maestros zen no eran muy dados a la verborrea y despreciaban todo lo teorizante y toda especulación. De este modo, desarrollaron métodos que señalaban directamente hacia la verdad, con acciones o palabras súbitas y espontáneas, que exponen las paradojas del pensamiento conceptual y, como los *koans* ya mencionados anteriormente, están destinadas a detener el proceso del pensamiento y a preparar al estudiante para la experiencia mística. Esta técnica queda bien ilustrada mediante los siguientes ejemplos de breves conversaciones entre maestro y discípulo. En estas conversaciones, que componen la mayor parte de la literatura zen, los maestros hablan tan poco como sea posible y utilizan sus palabras para llevar la atención del discípulo de los pensamientos abstractos a la realidad concreta.

Un monje, pidiendo ser instruido, dijo a Bodhidharma:

—No tengo paz mental. Por favor, da paz a mi mente.

—Trae tu mente aquí, ante mí —contestó Bodhidharma—, y le daré la paz.

—Pero, cuando busco mi mente —dijo el monje—, no la encuentro.

—¡Ya ves! —exclamó Bodhidharma—, ya la tienes pacificada[2].

Un monje dijo a Joshu:

—Acabo de entrar en el monasterio. Por favor, enséñame.

Joshu le preguntó:

—¿Has comido ya tu sémola de arroz?

El monje contestó:

—Ya la he comido.

Joshu dijo:

—Entonces deberías lavar tu tazón[3].

Estos diálogos nos muestran otro aspecto también peculiar del zen. La iluminación en el zen no significa renuncia al mundo sino, al contrario, la participación activa en los asuntos cotidianos. Este punto de vista tenía gran atractivo para la mentalidad china, que concedía mucha importancia a la vida práctica y productiva y a la idea de la perpetuación de la familia y no podía aceptar el carácter monástico del budismo hindú. Los maestros chinos siempre resaltaban que el Ch'an, o zen, es nuestra experiencia diaria, la «mente de cada día» como proclamaba Ma-tsu.

Su énfasis estaba en despertar en medio de los asuntos cotidianos y aclaraban que veían la vida diaria no solo como el camino hacia la iluminación, sino como la iluminación misma.

En zen, el *satori* significa la experiencia inmediata de la naturaleza búdica de todas las cosas. Entre ellas, están antes que nada los objetos, los asuntos y las personas implicados en la vida cotidiana; de este modo, al mismo tiempo que resalta los aspectos prácticos de la vida, el zen es profundamente místico. Viviendo totalmente el presente y prestando atención a todos los asuntos cotidianos, el que ha alcanzado el *satori* experimenta la maravilla y el misterio de la vida en cada acto, por sencillo que este sea:

¡Qué maravilla, qué misterio! Transporto leña, saco agua[4].

La perfección del zen, de este modo, es que cada uno viva su vida cotidiana de una manera natural y espontánea. Cuando le pidieron a Po-chang que definiese el zen, dijo: «Cuando tengo hambre, como; cuando estoy cansado, duermo». Aunque suena simple y evidente, como tantas cosas en zen, resulta de hecho una tarea difícil. Para recuperar la naturalidad de nuestra situación original se necesita de un largo entrenamiento y ello constituye un gran logro espiritual. En las palabras de un famoso dicho zen:

> Antes de estudiar el zen, las montañas son montañas, y los ríos son ríos. Mientras estás estudiando el zen, las montañas ya no son montañas y los ríos ya no son ríos, pero una vez obtenida la iluminación, las montañas vuelven a ser montañas y los ríos vuelven a ser ríos.

El énfasis del zen sobre la naturalidad y la espontaneidad muestra sin lugar a dudas sus raíces taoístas, pero la base de este énfasis es estrictamente budista. Es la creencia en la perfección de nuestra naturaleza original, la conciencia de que el proceso de la iluminación consiste simplemente en llegar a ser lo que ya somos desde el principio. Cuando le preguntaron al maestro zen Po-chang sobre la búsqueda de la naturaleza de Buda, respondió que «es muy parecido a buscar un buey mientras estás montado sobre él».

En el Japón actual existen dos escuelas principales de zen, que difieren en sus métodos de enseñanza. La Rinzai o escuela «súbita» utiliza el método de los *koans*, como ya comenté en un capítulo previo, y da mucha importancia a periódicas entrevistas formales con el maestro, llamadas *sanzen*, durante las cuales se pide al estudiante que presente su opinión sobre el *koan* que está tratando de resolver. La solución de un *koan* implica largos períodos de concentración muy intensa, que sirven de preparación e introducción a la percepción súbita del *satori*. Un maestro experto sabe cuándo ha alcanzado el estudiante el borde de la iluminación repentina y puede empujarle a la experiencia del *satori* con actos inesperados, como un golpe con un bastón o un fuerte grito.

Por su parte, la escuela Soto o «gradual» evita los bruscos métodos de la Rinzai y pretende la maduración paulatina del estudiante, «como la brisa de primavera que acaricia la flor ayudándola a florecer[5]». Es partidaria del

«estar sentado tranquilamente» y de la utilización del trabajo usual como modos de meditación.

Ambas escuelas, la Soto y la Rinzai dan una gran importancia al *zazen*, o meditación sentada, que se practica en los monasterios zen todos los días durante muchas horas. La postura y la respiración correctas de esta forma de meditación es lo primero que todo estudiante de zen debe aprender. En el zen Rinzai, se emplea el *zazen* en la preparación de la mente intuitiva para el manejo del *koan* y la escuela Soto considera el *zazen* como el medio más importante para ayudar al estudiante a madurar y a evolucionar hacia el *satori*. Incluso se considera el *zazen* como la realización de la propia naturaleza de Buda: cuerpo y mente fundidos en una armoniosa unidad que no necesita de ningún otro perfeccionamiento. Como dice un poema zen:

> Sentado tranquilamente, sin hacer nada.
> La primavera llega y la hierba crece por sí sola[6].

Al afirmar el zen que la iluminación se manifiesta en los asuntos cotidianos, su influencia sobre todos los aspectos de la tradicional forma de vida japonesa ha sido enorme, no solo en las artes de la pintura, caligrafía, jardinería y otras habilidades diversas, sino también en las actividades ceremoniales como servir el té o colocar las flores, en las artes marciales, en el tiro con arco, en la esgrima y en el judo. Cada una de estas actividades se conoce en Japón como un *do*, es decir, un *Tao* o «vía» hacia la iluminación. Todas ellas exploran varias características de la experiencia zen y pueden emplearse para entrenar la mente y ponerla en contacto con la realidad última.

La lenta y ritual actividad del *cha-no-yu* o ceremonia del té, el movimiento espontáneo de la mano requerido para la caligrafía y la pintura o la espiritualidad del *bushido* o «camino del guerrero», expresan la espontaneidad, la simplicidad y la total presencia mental características del zen. Aunque todas estas prácticas requieren una gran perfección técnica, la verdadera maestría solo es alcanzada cuando se trasciende la técnica y el arte se convierte en «arte sin arte», espontáneo, que surge de la inconsciencia.

Tenemos la suerte de disponer de una maravillosa descripción de tal «arte sin arte» en la obra de Eugen Herrigel *El zen en el arte del tiro con arco*. Herrigel pasó más de cinco años con un célebre maestro japonés a fin de aprender su «místico» arte, y en su libro nos da un informe personal de cómo experimentó el zen a través del tiro con arco. En él describe cómo le presentaron esta práctica como un ritual religioso que se «baila» con movimientos espontáneos. Aprender a tensar el arco «espiritualmente», con

una especie de esfuerzo fácil, y a soltar la cuerda «sin intención», dejando que el disparo «caiga como una fruta madura» le llevó muchos años de ardua práctica, que llegó a transformar todo su ser. Cuando finalmente logró la cima de la perfección, arco, flecha, blanco y arquero se hicieron uno, y ya no era él quien disparaba, sino que «eso» lo hacía por él.

La descripción de Herrigel sobre el tiro con arco constituye uno de los testimonios más puros del zen, pues no habla del zen en absoluto.



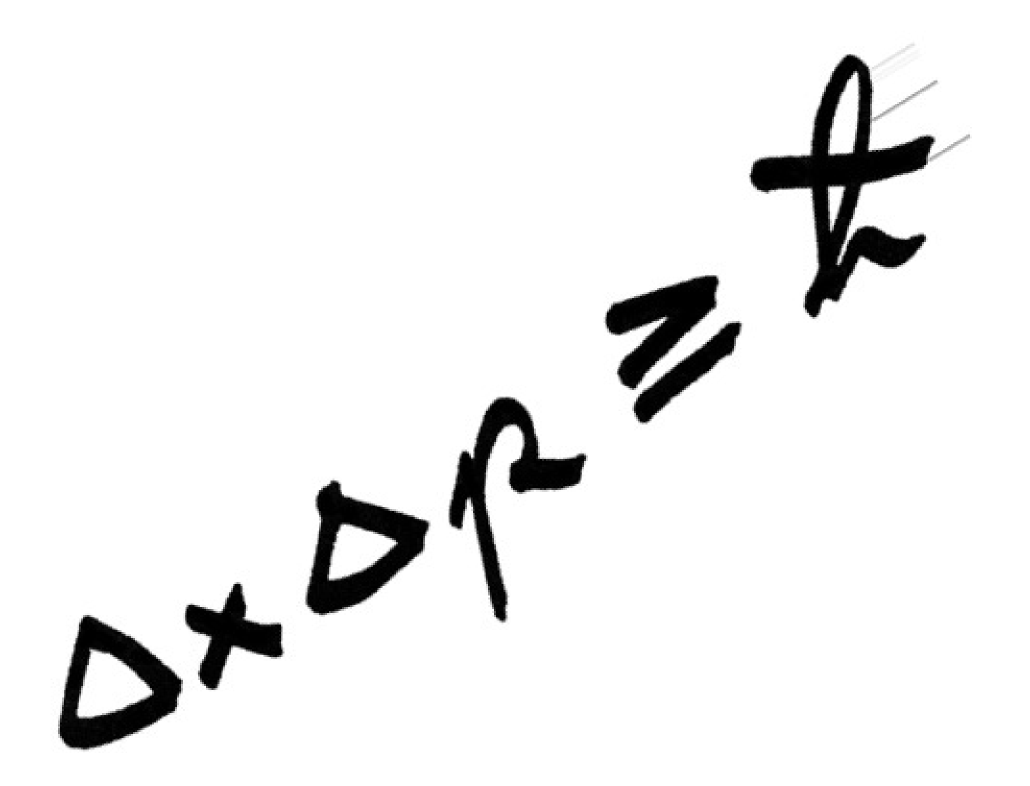
III

LOS PARALELISMOS

10

LA UNIDAD DE LAS COSAS

Aunque las tradiciones espirituales que he descrito en los últimos cinco capítulos difieren en muchos detalles, su visión del mundo es esencialmente la misma. Se trata de una cosmovisión basada en la experiencia mística —en una experiencia directa, no intelectual, de la realidad— y esta experiencia presenta ciertas características fundamentales que son independientes del fondo geográfico, histórico o cultural del místico que la experimenta. Un hindú y un taoísta tal vez acentúen diferentes aspectos de la experiencia; un budista japonés quizá interprete su experiencia en unos términos muy diferentes de los que utilizaría un budista hindú pero los elementos básicos de la cosmovisión desarrollada en todas estas tradiciones son los mismos. Estos elementos también parecen ser los rasgos fundamentales de la cosmovisión que emerge de la física moderna.



El rasgo más importante del concepto oriental del mundo —casi podría decirse que constituye su esencia— es la conciencia de la unidad e interrelación mutua existente entre todas las cosas y sucesos, la experiencia de todos los fenómenos que tienen lugar en el mundo como manifestaciones de una unidad básica. Todas las cosas se consideran partes inseparables de este conjunto cósmico, diferentes manifestaciones de la misma realidad última. Las tradiciones orientales se refieren constantemente a esta realidad última, indivisible, que se manifiesta en todas las cosas y de la que todas las cosas forman parte. En el hinduismo se le llama *Brahman*, en el budismo *Dharmakaya*, en el taoísmo *Tao*. Porque trasciende todos los conceptos y categorías, los budistas también lo llaman *Tahata*, o eseidad:

> El alma de la eseidad significa la unidad de todas las cosas, el gran uno todoabarcante[1].

En nuestra vida ordinaria, no somos conscientes de esta unidad de todas las cosas, sino que dividimos el mundo en objetos y sucesos separados. Esta división es útil y necesaria para enfrentarnos cada día al entorno que nos rodea, pero no constituye un rasgo fundamental de la realidad. Es una

abstracción ideada por nuestro intelecto discriminador y categorizante. Creer que nuestros conceptos abstractos de «cosas» y «sucesos» separados son realidades de la naturaleza es una ilusión. Los hindúes y budistas nos dicen que esta ilusión está basada en *avidya*, o ignorancia, y que es producida por la mente que se halla bajo el encanto de *maya*. La finalidad principal de las tradiciones místicas orientales es, por tanto, reajustar la mente, centrándola y tranquilizándola mediante la meditación. El término sánscrito que significa «meditación» —*samadhi*— quiere decir literalmente «equilibrio mental». Se refiere a un estado mental tranquilo y equilibrado en el cual se experimenta la unidad del universo:

> Al entrar en el *samadhi* de pureza se obtiene la intuición total que nos hace percibir la unidad absoluta de todo el universo[2].

La unidad básica del universo no solo constituye el rasgo central de la experiencia mística, sino también ha resultado ser una de las más importantes revelaciones de la física moderna. Se hace ya aparente a nivel atómico y se manifiesta cada vez más a medida que profundizamos en la materia dentro del mundo de las partículas subatómicas. La unidad de todas las cosas y sucesos será un tema que se repetirá una vez y otra durante toda esta comparación entre la física moderna y la filosofía oriental. A medida que estudiemos los diversos modelos de la física subatómica, veremos que expresan repetidamente, aunque de diferentes maneras, la misma percepción: que los componentes de la materia y los fenómenos básicos que la envuelven están todos interconectados e interrelacionados y son interdependientes, que no pueden entenderse como entidades aisladas, sino solo como partes integrantes del todo.

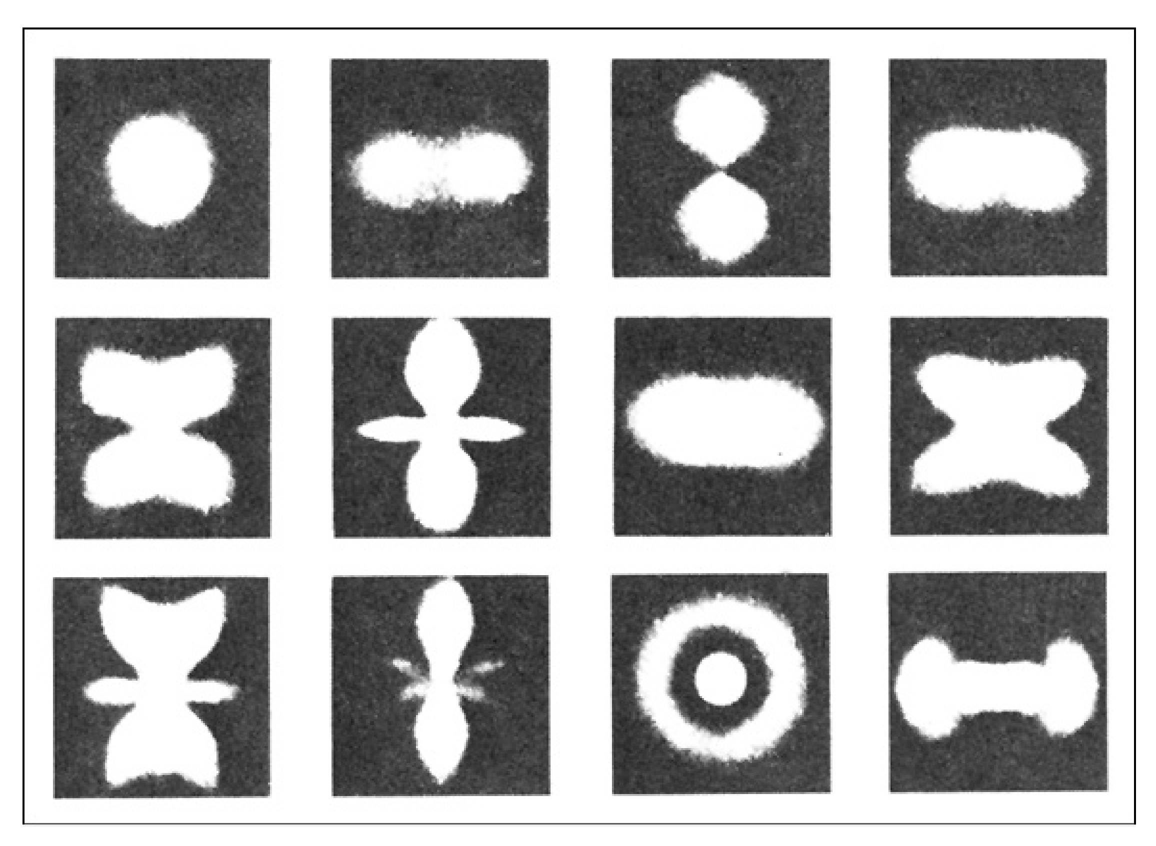
En este capítulo, expondré cómo en la teoría cuántica el concepto de la interconexión de todo cuanto existe en la naturaleza, la teoría de los fenómenos atómicos, surgió gracias a un meticuloso análisis del proceso de observación[*1]. Antes de entrar en este tema, me referiré de nuevo a la diferenciación entre la estructura matemática de una teoría y su interpretación verbal. La estructura matemática de la teoría cuántica ha superado incontables pruebas y ahora es aceptada universalmente como una descripción congruente y precisa de todos los fenómenos atómicos. Su interpretación verbal, sin embargo —por ejemplo, la metafísica de la teoría cuántica—, se halla en un terreno mucho menos sólido. De hecho, en más de cuarenta años no se ha podido proporcionar un modelo metafísico claro.

La siguiente exposición está basada en la llamada interpretación de Copenhague de la teoría cuántica, que fue desarrollada por Bohr y Heisenberg en la década de los años veinte y que sigue siendo el modelo más ampliamente aceptado. En mi exposición seguiré la presentación dada por Henry Stapp, de la Universidad de California[3], que se concentra en ciertos aspectos de la teoría y en un cierto tipo de situación experimental, que con frecuencia se da en la física subatómica[*2]. Stapp muestra con claridad de qué manera la teoría cuántica implica una interconexión esencial subyacente en toda la naturaleza y también sitúa a la teoría en un marco que puede extenderse fácilmente a los modelos relativistas de las partículas subatómicas, que más adelante trataremos.

El punto de partida de la interpretación de Copenhague es la división del mundo físico en un sistema observado (objeto) y un sistema observador. El primero puede ser un átomo, una partícula subatómica, un proceso atómico, etc. El segundo está formado por el aparato experimental e incluirá a uno o varios observadores humanos. Una seria dificultad surge del hecho de que los dos sistemas van a ser tratados de diferentes maneras. El sistema observador se describe en términos de la física clásica; sin embargo, estos términos no pueden ya emplearse de manera congruente para la descripción del objeto observado. Sabemos que los conceptos clásicos resultan inadecuados Para el nivel atómico, no obstante, debemos utilizarlos para describir nuestros experimentos y establecer los resultados. No hay manera de escapar a esta incongruencia. El lenguaje técnico de la física clásica no es más que un refinamiento de nuestro lenguaje cotidiano y constituye el único modo de que disponemos para comunicar nuestros resultados experimentales.

En la teoría cuántica los sistemas observados se describen en términos de probabilidades. Esto significa que nunca podremos predecir con seguridad dónde se hallará una partícula subatómica en un momento determinado o cómo tendrá lugar un proceso atómico. Todo lo que podemos hacer es predecir las probabilidades. Por ejemplo, la mayoría de las partículas subatómicas conocidas hasta hoy son inestables, es decir, se desintegran —o se desvanecen— en otras partículas después de cierto tiempo. No es posible, sin embargo, predecir ese tiempo con exactitud. Solo podemos predecir la probabilidad de que se desvanezcan después de un cierto tiempo o, en otras palabras, únicamente podemos predecir el tiempo medio de vida de un gran número de partículas de la misma especie. Esto mismo se aplica al «modo» de desvanecimiento. En general, una partícula inestable puede desvanecerse en varias combinaciones de otras partículas, y una vez más no podemos predecir

qué combinación elegirá una determinada partícula. Todo lo que podemos predecir es que de un gran número de partículas, el 60%, digamos, se desvanecerán de una manera, el 30% de otra y el 10% de una tercera. Es evidente que tales predicciones estadísticas han necesitado de muchas mediciones para su verificación. En los experimentos de colisión de la física de alta energía son registradas y analizadas, a fin de determinar las probabilidades de un proceso determinado, decenas de miles de colisiones entre partículas.



Modelos visuales de patrones de probabilidad

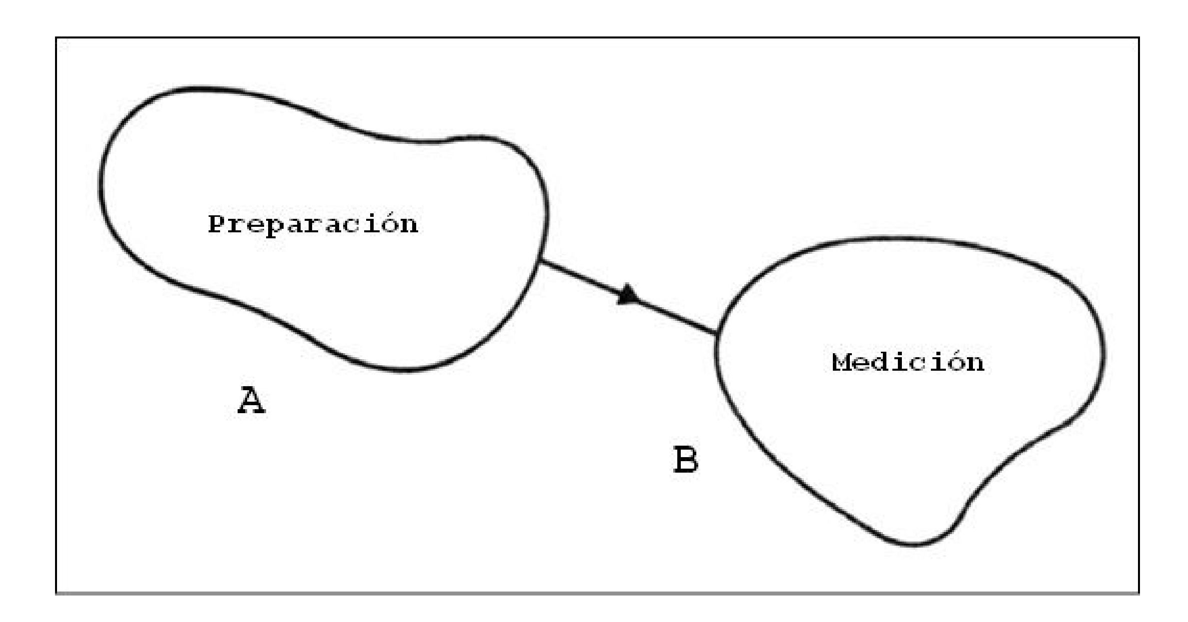
Es importante notar que la formulación estadística de las leyes de la física atómica y subatómica no refleja nuestra ignorancia de la situación, del mismo modo que lo hace el uso de las probabilidades por parte de las compañías de seguros o los jugadores de azar. En la teoría cuántica, hemos llegado a reconocer la probabilidad como un rasgo fundamental de la realidad atómica que gobierna todos los procesos e incluso la existencia de la materia. Las partículas subatómicas no existen con certeza en lugares definidos, sino que muestran «tendencias a existir», y los sucesos atómicos no ocurren con seguridad en tiempos definidos y de maneras definidas, sino que muestran «tendencias a ocurrir».

No es posible, por ejemplo, predecir con seguridad dónde estará un electrón de un átomo en un determinado momento. Su posición dependerá de la fuerza de atracción que lo mantiene unido al núcleo atómico y de la influencia de los otros electrones del átomo. Estas condiciones determinan un patrón de probabilidad que representa las tendencias del electrón a encontrarse en diversas zonas del átomo. La fotografía mostrada a continuación nos muestra algunos modelos visuales de tales patrones de probabilidad.

El electrón tiene más probabilidades de ser hallado donde los patrones son luminosos y menos probabilidades o incluso más improbabilidades de estar presente donde son oscuros. Lo importante es que todo el esquema representa al electrón en un momento dado. Dentro de este esquema, no podemos hablar sobre la posición del electrón, sino solo sobre sus tendencias a estar en ciertas zonas. En el formulismo matemático de la teoría cuántica, estas tendencias, o probabilidades se representan por la denominada función de probabilidad, cantidad matemática que está relacionada con las probabilidades de encontrar el electrón en ciertos lugares y en determinados momentos.

El contraste existente entre los dos tipos de descripción utilizados —términos clásicos para el aparato experimental y funciones de probabilidad para los objetos observados— lleva a profundos problemas metafísicos que aún no se han resuelto. En la práctica, sin embargo, estos problemas se sortean describiendo el sistema observador en términos operativos, es decir, en términos de las instrucciones que permiten a los científicos establecer y llevar a cabo sus experimentos. De este modo, los aparatos de medida y los propios científicos están eficazmente unidos dentro de un sistema complejo que no posee partes visibles y bien definidas y el aparato experimental no tiene que describirse como una entidad física aislada.

Para poder presentar de una forma más extensa el proceso de observación, será útil tomar un ejemplo determinado, y la entidad física más sencilla que podemos emplear es una partícula subatómica, por ejemplo un electrón. Si deseamos observar y medir dicha partícula, antes que nada debemos aislarla, o incluso crearla, en un proceso que podríamos llamar de preparación. Una vez que la partícula se ha preparado para su observación, pueden medirse sus propiedades, y esto constituye el proceso de medición.



Observación de una partícula en física atómica.

La situación puede ser simbólicamente representada de la siguiente manera: una partícula se prepara en la región A, viaja de A a B y se mide en la región B. En la práctica, la preparación y la medición de la partícula pueden consistir en toda una serie de procesos bastante complicados.

En los experimentos de colisión que se desarrollan en la física de alta energía, por ejemplo, la preparación de las partículas empleadas como proyectiles consiste en lanzarlas alrededor de una pista circular y acelerarlas hasta que su energía sea lo suficientemente alta. Este proceso tiene lugar en el acelerador de partículas. Cuando se alcanza la energía deseada, se las hace abandonar el acelerador (A) y viajar al área de destino (B), donde colisionan con otras partículas. Estas colisiones tienen lugar en una cámara de burbujas, donde las partículas producen rastros visibles que pueden ser fotografiados. Las propiedades de las partículas se deducen del análisis matemático de sus rastros; este análisis puede ser muy complicado y en ocasiones se lleva a cabo con la ayuda de ordenadores. Todos estos procesos y actividades conforman el acto de la medición.

Lo importante de este análisis de observación es que la partícula constituye un sistema intermedio que une los procesos en A y B. Existe y tiene significado solamente en este contexto, no como una entidad aislada, sino solo como una interconexión entre los procesos de preparación y de medición. Las propiedades de la partícula no pueden definirse independientemente de estos procesos. Si se modificase la preparación o la medición, las propiedades de la partícula también cambiarían.

Por otro lado, el hecho de que hablemos de la «partícula», o de cualquier otro sistema observado, demuestra que tenemos en mente alguna entidad física independiente, que primero se prepara y después se mide. El problema básico de la observación en la física atómica es —según palabras de Henry Stapp— que «es preciso aislar el sistema observado para definirlo, es decir, tenemos que influir en él para poderlo observar[4]». Este problema se resuelve en la teoría cuántica de un modo pragmático al requerir que el sistema observado se encuentre libre de perturbaciones externas causadas por el proceso de observación durante algún intervalo entre su preparación y la consiguiente medición. Tal condición puede darse si los mecanismos de preparación y medición están separados físicamente por una gran distancia, a fin de que el objeto observado pueda viajar de la zona de preparación a la zona de medición.

¿Cómo de grande ha de ser esta distancia? En principio, debería ser infinita. En el marco de la teoría cuántica, el concepto de una entidad física bien definida puede determinarse con precisión solo si esta entidad se encuentra infinitamente alejada de los lugares de observación. En la práctica, evidentemente esto no es posible, ni tampoco necesario. Hemos de recordar, aquí, la actitud básica de la ciencia moderna en el sentido de que todos sus conceptos y teorías son aproximativos. En este caso, esto significará que el concepto de una entidad física bien determinada no necesita una definición precisa, sino que puede definirse de un modo aproximado.

Esto se lleva a cabo de la siguiente forma: el objeto observado es, pues, una manifestación de la interacción que se da entre los procesos de preparación y medición. Esta interacción es normalmente compleja e implica varios efectos que se extienden a diferentes distancias; tiene varios «alcances», como diríamos en física. Ahora bien, si la parte dominante de esta interacción tiene un largo alcance, la manifestación de este efecto de largo alcance viajará a mucha distancia. Entonces estará libre de las perturbaciones externas y podremos referirnos a ella como una entidad física bien definida, clara. En el marco de la teoría cuántica, las entidades físicas bien definidas son, por lo tanto, idealizaciones, que serán significativas solo mientras la parte principal de la interacción tenga un largo alcance. Esta situación puede definirse matemáticamente de un modo preciso. Físicamente, esto significará que los aparatos de medición estarán colocados tan lejos que su interacción principal ocurrirá mediante el intercambio de una partícula o, en casos más complicados, de una serie de partículas. Siempre se harán también presentes otros efectos, pero mientras la separación de los aparatos de medida sea lo

suficientemente grande, estos efectos pueden no tenerse en cuenta. Solo cuando los aparatos no estén colocados lo suficientemente lejos tendrán importancia los efectos de corto alcance. Así, todo el sistema macroscópico forma un conjunto unificado y el concepto del objeto separado y observado deja ya de tener validez.

La teoría cuántica, por lo tanto, revela la interconexión existente en el universo y demuestra que no es posible descomponer el mundo en las más pequeñas unidades que existan independientemente[*3]. A medida que penetramos en la materia, nos encontramos que está hecha de partículas, pero estas no son los «ladrillos básicos» al estilo de Demócrito o de Newton, sino meramente idealizaciones que resultan útiles desde un punto de vista práctico, pero sin significado en sí mismas. Según Niels Bohr, «las partículas materiales aisladas son abstracciones, y sus propiedades son definibles y observables solo a través de su interacción con otros sistemas[5]».

La interpretación de Copenhague de la teoría cuántica no es universalmente aceptada. Existen varias observaciones en su contra, y los problemas filosóficos implicados en ella están lejos de haber sido resueltos. Sin embargo, la interconexión universal de las cosas y de los sucesos parece ser un rasgo fundamental de la realidad atómica, que no depende de una interpretación particular de la teoría matemática. El párrafo siguiente, extraído de un artículo de David Bohrn, uno de los principales oponentes a la interpretación de Copenhague, confirma este hecho de forma elocuente:

> Llegamos a un nuevo concepto de inquebrantable totalidad, que niega la idea clásica del análisis del mundo en partes separadas e independientes […]. El concepto clásico usual de que las «partes elementales» independientes son la realidad fundamental del mundo y que los diversos sistemas sean meramente formas y ordenamientos particulares de esas partes se ha invertido. En lugar de ello, decimos más bien que la realidad fundamental es la inseparable interrelación cuántica de todo el universo y que las partes que parecen funcionar de un modo relativamente independiente son simplemente formas contingentes y particulares dentro de todo ese conjunto[6].

De este modo, a nivel atómico, los objetos sólidos materiales de la física clásica se disuelven en patrones de probabilidades, y estos patrones no representan probabilidades de cosas, sino de interconexiones. La teoría cuántica nos fuerza a ver el universo no como una serie de objetos físicos,

sino más bien como una complicada telaraña de relaciones entre las diversas partes de un todo unificado. Y esta es precisamente la forma en que los místicos orientales han experimentado el mundo, expresando algunos de ellos su experiencia en palabras que son casi idénticas a las usadas por los físicos atómicos. Aquí tenemos dos ejemplos:

> El objeto material llega a ser […] algo diferente de lo que ahora vemos, no es un objeto separado sobre el fondo o en medio del resto de la naturaleza, sino una parte indivisible e incluso, de un modo sutil, una expresión de la unidad de todo cuanto vemos[7].
>
> Las cosas derivan su ser y su naturaleza de su interdependencia mutua y en sí mismas no son nada[8].

Si bien estas afirmaciones podrían tomarse como un testimonio del modo en que la naturaleza se muestra en la física atómica, las dos siguientes, procedentes de físicos atómicos podrían, a su vez, considerarse una descripción de la experiencia mística de la naturaleza:

> Una partícula elemental no es una entidad independiente e inanalizable, sino un conjunto de relaciones que llegan a alcanzar también a otras cosas[9].
>
> El mundo aparece, entonces, como un complicado tejido de acontecimientos, en el cual las relaciones de diferentes especies se alternan, o se superponen y se combinan, determinando de este modo la textura de la totalidad[10].

La imagen de una telaraña cósmica interrelacionada que nos presenta la física atómica moderna ha sido abundantemente utilizada en Oriente para transmitir la experiencia mística. Para los hindúes, *Brahman* es el hilo unificador en la telaraña cósmica, la base definitiva de todo ser:

> Aquel en quien el cielo, la tierra y la atmósfera están tejidos. Y que el viento junto a toda la vida que respira reconoce como alma única[11].

En el budismo, la imagen de la telaraña cósmica desempeña un importantísimo papel. El núcleo del *Sutra Avatamsaka* uno de los principales

textos del budismo Mahayana, es la descripción del mundo como una red perfecta de relaciones mutuas, donde todas las cosas y todos los sucesos se influyen mutuamente uno a otro de una manera infinitamente complicada. Los budistas mahayana desarrollaron muchas parábolas y símiles para ilustrar esta interrelación universal, algunos de los cuales veremos más adelante, al referirnos a la versión relativista de la «filosofía de la telaraña» en la física moderna. Finalmente, la telaraña cósmica desempeña un papel central en el budismo tántrico, rama del Mahayana que se originó en la India aproximadamente hacia el siglo III de nuestra era y que constituye hoy en día la principal escuela de budismo tibetano. Los textos de esta escuela se llaman *tantras*, palabra cuya raíz sánscrita significa «entretejer» y que se refiere al entretejido e interdependencia existente entre todo lo que existe.

En el misticismo oriental, este entretejido siempre incluye al observador humano y a su conciencia, y lo mismo ocurre en la física atómica. A nivel atómico, los «objetos» solamente pueden comprenderse en términos de una interacción entre los procesos de preparación y de medición. El final de esta cadena de procesos será siempre la conciencia del observador humano. Las mediciones son interacciones que originan «sensaciones» en nuestra conciencia —por ejemplo, la sensación visual de un destello de luz, o de una mancha oscura sobre una placa fotográfica— y las leyes de la física atómica nos dicen con qué probabilidad un objeto atómico dará lugar a una determinada sensación si permitimos que interactúe sobre nosotros. Según Heisenberg: «Las ciencias naturales no describen y explican la naturaleza simplemente, sino que forman parte de la interacción existente entre la naturaleza y nosotros mismos[12]».

El rasgo crucial de la física atómica consiste en que al observador humano no solo le es necesario observar las propiedades de un objeto, sino que necesita definir tales propiedades. En física atómica no podemos hablar de las propiedades de un objeto como tal, pues son solo significativas en el contexto de la interacción del objeto con el observador. En palabras de Heisenberg, «lo que nosotros observamos no es la naturaleza misma, sino la naturaleza expuesta a nuestro método de interrogación[13]». El observador decide cómo va a establecer la medición y esta decisión determinará, hasta cierto punto, las propiedades del objeto observado. Si se modificaran las características del experimento, las propiedades del objeto observado cambiarían a su vez.

Puede servir de ejemplo el caso sencillo de una partícula subatómica. Cuando se observa tal partícula, podemos elegir medir —entre otras variables— su posición y su momento (cantidad definida como la masa de la partícula

multiplicada por su velocidad). En el próximo capítulo veremos que una ley importante de la teoría cuántica —el principio de la incertidumbre de Heisenberg— afirma que estas dos variables nunca podrán medirse simultáneamente con precisión. Podemos obtener un conocimiento exacto de la posición de la partícula y no saber nada de su momento (y por lo tanto de su velocidad), o viceversa; o bien podemos tener un burdo e impreciso conocimiento de ambos parámetros. Lo importante es que esta limitación no tiene nada que ver con lo imperfecto de nuestras técnicas de medición. Se trata de una limitación inherente a la realidad atómica. Si deseamos medir la posición de la partícula con precisión, sencillamente la partícula no tendrá un momento bien definido, y si decidimos medir el momento, no tendrá una posición clara.

Así, en la física atómica, el científico no puede desempeñar el papel de un observador imparcial objetivo, sino que se ve involucrado e inmerso en el mundo que observa hasta el punto de que influencia las propiedades de los objetos observados. John Wheeler considera que este involucramiento del observador constituye la característica más destacable de la teoría cuántica y por tanto ha sugerido reemplazar el término *observador* por el de *partícipe*. Estas son sus palabras:

> En este principio cuántico, nada es más importante que esto, pues destruye el concepto del mundo como «algo exterior», donde el observador está aislado de él por una gruesa placa de cristal de 20 centímetros. Incluso para observar un objeto tan minúsculo como un electrón, tendrá que destruir el cristal. Tendrá que penetrar e instalar su equipo de medición. A él le corresponderá decidir si medirá la posición o el momento. Instalar el equipo para medir lo uno impide y excluye su instalación para medir lo otro. Además, la propia medición varía y modifica el estado del electrón. El universo nunca será ya el mismo. Para describir lo que ha ocurrido, se hace necesario borrar la vieja palabra *observador* y colocar en su lugar la de *partícipe*. En cierto extraño sentido, el universo es un universo de participación[14].

La idea de «participación en lugar de observación» ha sido solo recientemente formulada en la física moderna; sin embargo, es bien conocida por cualquier estudiante de misticismo. El conocimiento místico no puede obtenerse solo mediante la observación, sino que requiere la plena

participación de todo nuestro ser. Así, el concepto de «partícipe» es algo crucial en la visión oriental del mundo, y los místicos orientales lo han llevado al extremo, hasta un punto en que el observador y lo observado, el sujeto y el objeto, no solo son inseparables sino que llegan a hacerse indistinguibles. Los místicos no se conforman con una situación análoga a la que se da en la física moderna, donde el observador y lo observado no pueden ya separarse, pero todavía se distinguen, sino que van mucho más allá, y en la meditación profunda llegan a un punto en el que la distinción entre ambos deja de existir, un punto en el que sujeto y objeto se funden en un todo indiferenciado y unificado. A este respecto dicen los *Upanishads*:

> Cuando existe la dualidad, uno ve al otro, huele al otro y saborea al otro […]. Sin embargo, cuando todo se ha hecho uno, ¿a quién se podría ver?, ¿a quién se podría oler?, ¿a quién se podría saborear[15]?

Esta es la percepción final de la unidad de todas las cosas. Se alcanza —así nos lo dicen los místicos— en un estado de conciencia en el cual la individualidad se ve disuelta en una unidad indiferenciada, donde el mundo de los sentidos se trasciende y nuestros conceptos de las «cosas» quedan atrás. En palabras de Chuang Tzu:

> Mi conexión con el cuerpo y sus partes está disuelta. Mis órganos perceptivos están desconectados. Así, dejando mi forma material y diciendo adiós a mi conocimiento, llego a ser uno con el Gran Omnipenetrante. A esto lo llamo sentarse y olvidarse de todas las cosas[16].

La física moderna funciona, por supuesto, dentro de un marco muy diferente y no puede ir tan lejos en la experiencia de la unidad de todas las cosas. Pero con la teoría atómica ha dado un gran paso hacia el concepto del mundo sostenido desde siempre por los místicos orientales. La teoría cuántica ha abolido el concepto de objetos básicos y separados, ha introducido el concepto de partícipe para reemplazar al de observador y puede que incluso crea necesario incluir la conciencia humana en su descripción del mundo[*4]. Ha llegado a considerar el universo como una telaraña de relaciones físicas y mentales cuyas partes solo se pueden definir a través de sus relaciones con el todo. Para resumir la cosmovisión surgida de la física atómica, las palabras de

un budista tántrico, el lama Anagarika Govinda, parecen perfectamente a propósito:

> El budista no cree en un mundo externo que exista independiente y separadamente, y en cuyas fuerzas dinámicas pueda él insertarse. Para él el mundo externo y su mundo interior son solo dos lados de la misma tela, en la que los hilos de todas las fuerzas y de todos los sucesos, de todas las formas de conciencia y de sus objetos, están entretejidos formando una red inseparable de relaciones sin fin, mutuamente condicionadas[17].

11

MÁS ALLÁ DEL MUNDO DE LOS OPUESTOS

Cuando los místicos orientales afirman que experimentan todas las cosas como manifestaciones de una unidad básica, no están proclamando la igualdad de todas las cosas. Reconocen la individualidad de cada una de ellas, pero al mismo tiempo son conscientes de que todas las diferencias y contrastes son relativos, dentro de una unidad todoabarcante. Dado que en nuestro estado normal de conciencia esta unidad de todos los contrastes —y especialmente la unidad de los opuestos— resulta extremadamente difícil de aceptar, esto constituye para nosotros uno de los rasgos más sorprendentes de la filosofía oriental. Pese a ello, es una percepción que se encuentra en la misma raíz del concepto oriental del mundo.

Los opuestos son conceptos abstractos, pertenecientes al reino del pensamiento y, como tales, son relativos. Por el simple hecho de centrar nuestra atención sobre cualquier concepto, creamos su opuesto. Como dice Lao Tse: «Cuando todos en el mundo entienden la belleza como bella, están creando la fealdad; cuando todos entienden la bondad como buena, están creando el mal[1]». El místico trasciende este mundo de conceptos intelectuales, y al trascenderlo se hace consciente de la relatividad de los opuestos y de la relación polar existente entre ellos. Se da cuenta de que el bien y el mal, el placer y el dolor, la vida y la muerte no son experiencias absolutas pertenecientes a diferentes categorías, sino que simplemente constituyen dos partes de la misma realidad —partes extremas de una sola unidad—. La conciencia de que todos los opuestos son polares y por consiguiente forman una unidad se considera en las tradiciones espirituales de Oriente una de las más elevadas metas del hombre. «¡Mora en la eterna verdad, más allá de los opuestos terrenos!» es el consejo que Krishna da en el *Bhagavad Gita*, e idéntico consejo se ofrece a los seguidores del budismo. D. T. Suzuki escribe:

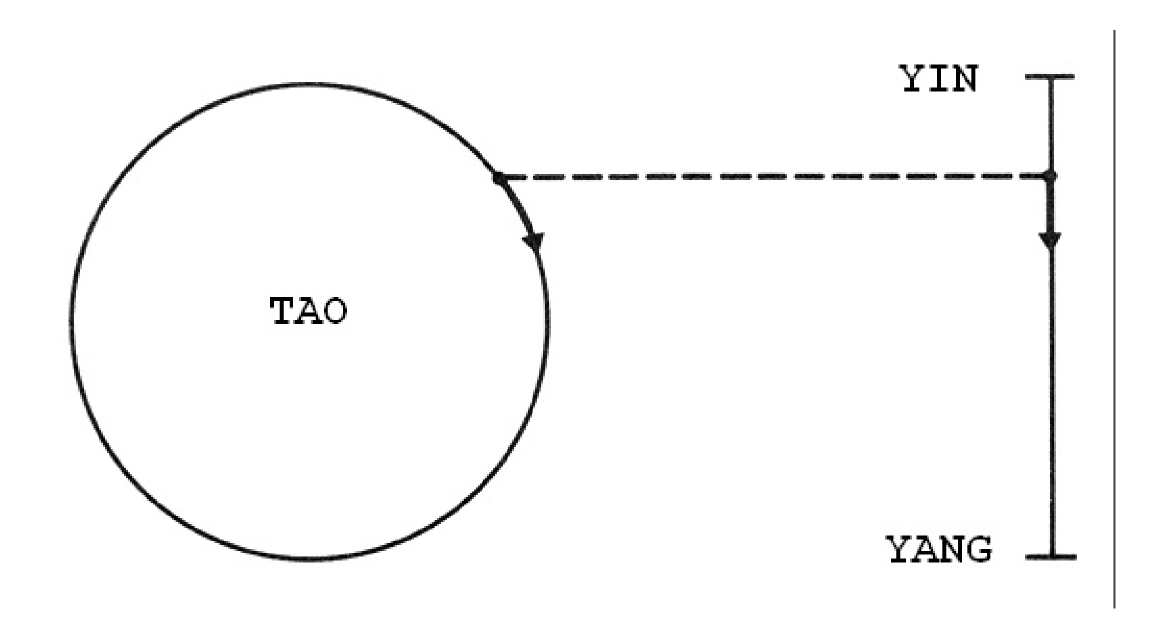
> La idea fundamental del budismo es trascender el mundo de los opuestos, mundo construido con distinciones intelectuales y corrupciones emocionales, y llegar a realizar el mundo espiritual de la no diferenciación, que implica alcanzar un punto de vista absoluto[2].

Toda la enseñanza budista —y de hecho todo el misticismo oriental— gira en torno a este punto de vista absoluto que se alcanza en el mundo de *acintya*, o de no pensamiento, donde la unidad de todos los opuestos se convierte en una experiencia vívida. Dice un poema zen:

> Al atardecer, el gallo anuncia el alba;
> a medianoche, el brillo del sol[3].

La idea de que todos los opuestos constituyen una polaridad —que la luz y la oscuridad, el ganar y el perder, el bien y el mal son simplemente aspectos diferentes del mismo fenómeno— es uno de los principios básicos de la vida oriental. Puesto que todos los opuestos son interdependientes, su conflicto nunca podrá terminar con la victoria total de una de las partes, sino que siempre será una manifestación de la interacción entre ambos. Así, en Oriente, una persona virtuosa no es la que emprende la imposible tarea de luchar por el bien y eliminar el mal, sino la que es capaz de mantener un equilibrio dinámico entre lo bueno y lo malo.

Esta idea del equilibrio dinámico es esencial para la forma en que se experimenta la unidad de los opuestos en el misticismo oriental. Nunca es una identidad estática, sino siempre una interacción dinámica entre los dos extremos. Esto fue resaltado por los sabios chinos en su simbolismo de los polos arquetípicos yin y yang. A la unidad existente más allá del yin y del yang la llamaron *Tao* y la consideraban como un proceso que producía su interacción: «Aquello que deja aparecer ahora la oscuridad, ahora la luz, es el *Tao*[4]».



Unidad dinámica de los opuestos polares.

La unidad dinámica de los opuestos polares puede ilustrarse mediante el sencillo ejemplo de un movimiento circular y su proyección. Supongamos que tenemos una bola dando vueltas alrededor de un círculo. Si este movimiento se proyectara sobre una pantalla, se convertiría en una oscilación entre dos puntos extremos (para mantener la analogía con el pensamiento chino, he escrito *tao* en el círculo y he señalado los puntos extremos de la oscilación con yin y yang). La bola se mueve alrededor del círculo a una velocidad constante, pero en la proyección va más despacio a medida que llega al borde, da la vuelta y después acelera de nuevo, para ir más despacio al llegar al otro extremo, y así sucesivamente en ciclos infinitos. En cualquier proyección de esta especie, el movimiento circular aparecerá como una oscilación entre dos puntos opuestos, pero en el movimiento real los opuestos están unidos y son trascendidos. Esta imagen de la unificación dinámica de los opuestos se hallaba ya en la mente de los pensadores chinos, como puede apreciarse en el pasaje del *Chuang-Tzu* citado anteriormente:

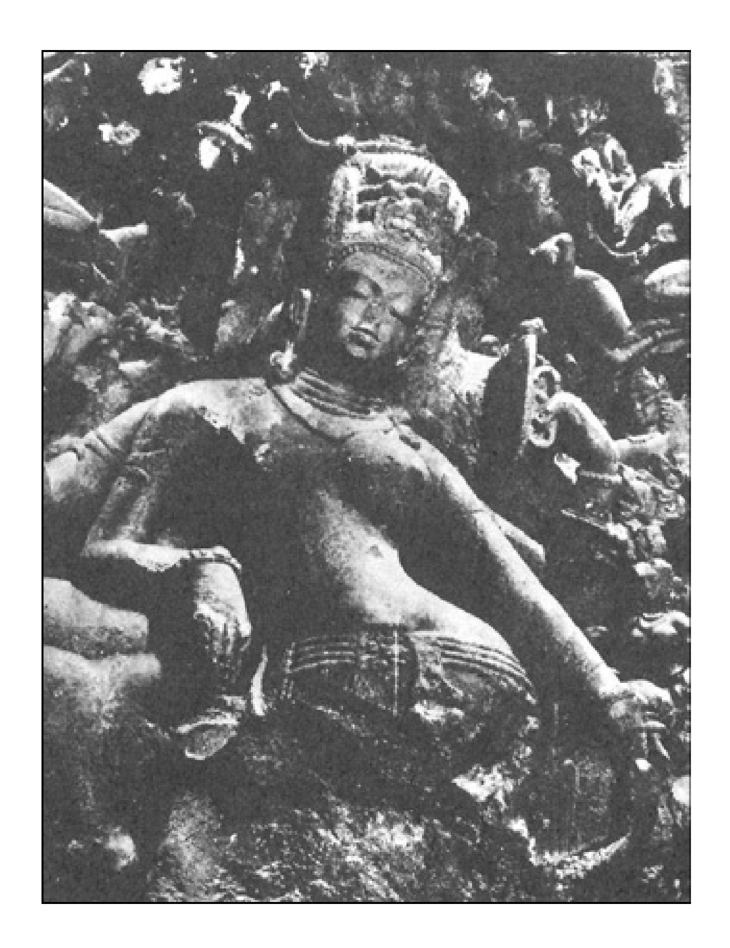
> Que «aquel» y «este» dejen de ser opuestos constituye la misma esencia del Tao. Solo esta esencia, como un eje, es el centro del círculo que responde a los cambios sin fin.

Una de las principales polaridades de la vida es la que existe entre las partes masculina y femenina de la naturaleza humana. Como ocurre con la polaridad del bien y del mal, o de la vida y la muerte, tendemos a sentirnos incómodos con la polaridad masculino-femenina existente en nosotros

mismos, y por ello generalmente hacemos destacar uno u otro lado. La sociedad occidental ha favorecido tradicionalmente el lado masculino más que el femenino. En lugar de reconocer que la personalidad de cada hombre y de cada mujer es el resultado de una interacción entre sus elementos femenino y masculino, ha establecido un orden estático, donde se supone que todos los hombres son masculinos y todas las mujeres femeninas, y a ellos se les han dado los papeles de dirigentes y la mayor parte de los privilegios sociales. Esta actitud ha generado una sobrevaloración de todos los aspectos yang —masculinos— de la naturaleza humana: actividad, pensamiento racional, competencia, agresividad y así sucesivamente. Los modos de conciencia yin —femeninos— que pueden describirse con palabras como *intuitivo*, *religioso, místico, oculto* o *psíquico* se han suprimido constantemente en nuestra sociedad, orientada más hacia lo masculino.



Shiva Mahesvara. Templo de Elefanta (India). Siglo VIII.



Shiva Adrdhanari. Templo de Elefanta (India). Siglo VIII.

En el misticismo oriental, estos modos femeninos se desarrollan y se intenta buscar la unidad entre ambos aspectos de la naturaleza humana. Un ser humano completamente realizado es el que, según palabras de Lao Tse, «conoce lo masculino y, sin embargo, se mantiene en lo femenino». En muchas tradiciones orientales, el equilibrio dinámico entre los modos de conciencia masculino y femenino constituye la meta principal de la meditación, y muchas obras de arte dan cuenta de ello. Una magnífica escultura de Shiva en el templo hindú de Elefanta muestra tres caras del dios: a la izquierda, su aspecto femenino —amable, encantador, seductor—; a la derecha, su perfil masculino —desplegando virilidad y fuerza de voluntad—, y en el centro la sublime unión de los dos aspectos en la magnífica cabeza de Shiva Mahesvara, el Gran Señor, que irradia un equilibrio sereno y trascendental. En el mismo templo, Shiva aparece también representado en forma andrógina —mitad hombre, mitad mujer—; el movimiento del cuerpo del dios y la serena imparcialidad de su rostro simbolizan, de nuevo, la dinámica unificación de lo masculino y lo femenino.

En el budismo tántrico, la polaridad masculino-femenina es ilustrada con frecuencia mediante la ayuda de símbolos sexuales. La sabiduría intuitiva se

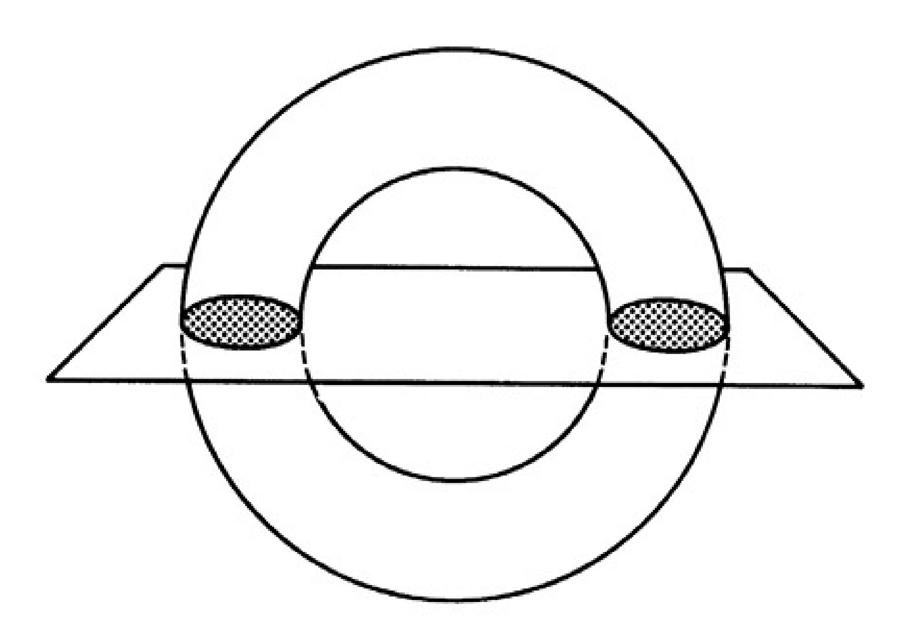
considera la pasiva cualidad femenina de la naturaleza humana, el amor y la compasión como la activa cualidad masculina, y la unión de ambas en el proceso de la iluminación se representa mediante abrazos sexuales de deidades masculinas y femeninas. Los místicos orientales afirman que tal unión de ambos aspectos de nuestro ser solo puede experimentarse en un plano de conciencia más elevado, donde el reino del pensamiento y del lenguaje es trascendido y en el cual todos los opuestos aparecen como una unidad dinámica.

Ya manifesté que algo similar se ha logrado en la física moderna. La exploración del mundo subatómico reveló una realidad que trasciende repetidamente tanto el lenguaje como el razonamiento, y la unificación de conceptos que hasta ahora habían parecido opuestos e irreconciliables ha resultado ser uno de los rasgos más sorprendentes de esta nueva realidad. Estos conceptos en apariencia irreconciliables no son generalmente los mismos en los que se interesan los místicos orientales —aunque algunas veces sí—, pero su unificación —en un nivel no ordinario de la realidad— genera un fuerte paralelismo con el misticismo oriental. Así, los físicos modernos mejorarían su comprensión de las enseñanzas orientales si las relacionaran con las experiencias que tienen lugar en su propio campo. Un pequeño, pero cada vez mayor, número de jóvenes físicos se ha dado cuenta de que este constituye uno de los más valiosos y estimulantes enfoques sobre el misticismo oriental.

Ejemplos de la unificación de los conceptos opuestos se pueden encontrar en la física moderna a nivel subatómico, donde las partículas son a la vez destructibles e indestructibles, donde la materia es continua y discontinua y donde fuerza y materia no son sino aspectos diferentes de un mismo fenómeno. En todos estos ejemplos, que trataremos más ampliamente en próximos capítulos, resulta que el marco de los conceptos opuestos, derivado de nuestra experiencia diaria, es demasiado estrecho para el mundo de las partículas subatómicas. La teoría de la relatividad es crucial para la descripción de este mundo, y, en el marco «relativista», los conceptos clásicos se trascienden, llegando a una dimensión más elevada, el espacio-tiempo cuatridimensional. El espacio y el tiempo son dos conceptos que siempre habían parecido totalmente diferentes; sin embargo, la física relativista los ha unificado. Esta unidad fundamental constituye la base para la unificación de los conceptos opuestos antes mencionados. Al igual que la unidad de los opuestos experimentada por los místicos, también en la física esta unificación tiene lugar en un «plano más elevado», es decir, en una dimensión más alta y,

al igual que lo experimentado por los místicos, se trata de una unidad dinámica, pues la realidad relativista espacio-temporal es una realidad intrínsecamente dinámica, donde los objetos son también procesos y todas las formas no son sino patrones dinámicos.

Para experimentar la unificación en una dimensión más elevada de entidades aparentemente separadas no necesitamos la teoría de la relatividad. También podemos experimentarla yendo de una a dos dimensiones, o de dos a tres. En el ejemplo dado anteriormente de un movimiento circular y su proyección, los polos de la oscilación que en una dimensión (a lo largo de la línea) son opuestos están unificados en el movimiento circular en dos dimensiones (en el plano). El siguiente dibujo representa otro ejemplo, pasando ahora de dos a tres dimensiones.



En este ejemplo se muestra una «rosquilla» cortada horizontalmente por un plano. En las dos dimensiones de ese plano, las superficies del corte aparecen como dos discos completamente separados; sin embargo, en tres dimensiones vemos que forman parte de un mismo y único objeto. Una unificación similar de identidades aparentemente separadas e irreconciliables se logra en la teoría de la relatividad, al pasar de tres a cuatro dimensiones. El mundo cuatridimensional de la física relativista es un mundo en el que la fuerza y la materia están unificadas, en el que la materia puede aparecer como partículas discontinuas o como un campo continuo. En estos casos, sin embargo, ya no somos capaces de visualizar muy bien su unidad. Los físicos pueden «experimentar» el mundo espacio-temporal cuatridimensional a través del formulismo matemático abstracto de sus teorías, pero su imaginación visual

—como la de todo el mundo— está limitada al mundo tridimensional de los sentidos. Nuestro lenguaje y nuestros patrones de pensamiento han evolucionado en este mundo tridimensional y por ello nos resulta extremadamente difícil tratar con la realidad cuatridimensional de la física relativista.

Los místicos orientales, sin embargo, parecen ser capaces de experimentar de una forma directa y concreta una realidad dimensional superior. En estado de meditación profunda, pueden trascender el mundo tridimensional de la vida diaria y experimentar una realidad totalmente diferente, donde los opuestos están unificados dentro de un todo orgánico. Cuando los místicos tratan de expresar esta experiencia con palabras, se enfrentan con los mismos problemas que los físicos que tratan de interpretar la realidad multidimensional de la física relativista en lenguaje ordinario. En palabras del lama Anagarika Govinda:

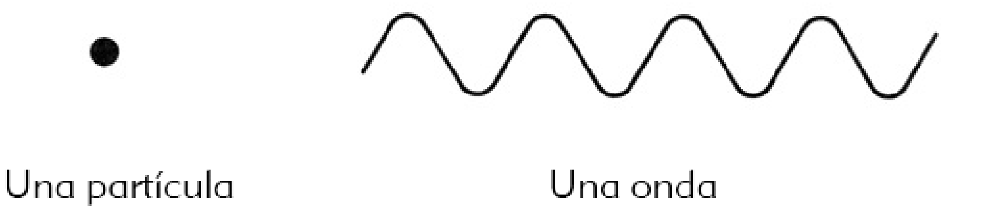
> La experiencia de una dimensión más elevada se logra mediante la integración de experiencias de diferentes centros y niveles de conciencia. Por ello ciertas experiencias de meditación son indescriptibles en el plano de conciencia tridimensional y en un sistema de lógica de reducidas posibilidades de expresión que limita el proceso del pensamiento[5].

El mundo cuatridimensional de la teoría de la relatividad no es el único ejemplo de la física moderna en el que conceptos en apariencia contradictorios e irreconciliables simplemente se consideran diferentes aspectos de la misma realidad. Quizá el caso más famoso de tal unificación de conceptos contradictorios sea el de las partículas y las ondas.

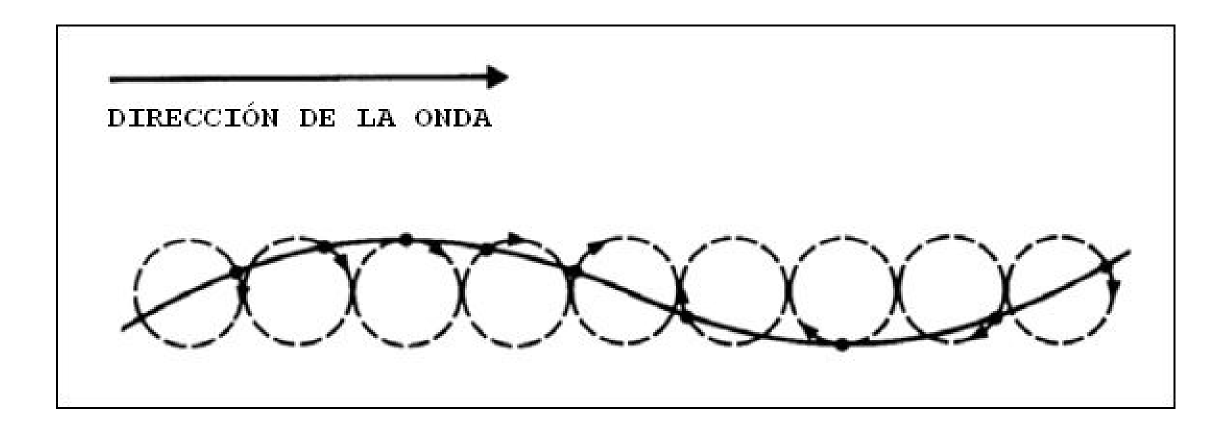
A nivel atómico, la materia posee un aspecto dual: aparece como partículas y como ondas. Cómo se muestre dependerá de la situación. En algunas situaciones predominará el aspecto de partículas; en otras, se comportará más como ondas. Esta naturaleza dual se manifiesta también en la luz y en todas las demás radiaciones electromagnéticas. La luz, por ejemplo, es emitida y absorbida en forma de «cuantos» o fotones; sin embargo, cuando estas partículas de luz viajan por el espacio, aparecen como vibrantes campos eléctricos y magnéticos, que presentan el comportamiento característico de las ondas. A los electrones se los considera normalmente partículas; no obstante, cuando un rayo de tales partículas se envía a través de una pequeña hendidura, resulta refractado exactamente del mismo modo en que lo haría un

rayo de luz; en otras palabras, los electrones, a su vez, se comportan como ondas.

Este aspecto dual de la materia y la radiación resulta de lo más sorprendente y dio origen a muchos de los *koans* que condujeron a la formulación de la teoría cuántica. La imagen de una onda que se propaga abiertamente por el espacio es totalmente diferente de la de una partícula, que implica una marcada localización. A los físicos les llevó mucho tiempo aceptar el hecho de que la materia se manifiesta de maneras que parecen mutuamente excluyentes, que las partículas sean también ondas y las ondas también partículas.



Mirando estos dos dibujos, un neófito podría pensar que la contradicción puede resolverse diciendo que el esquema del lado derecho sencillamente representa una partícula moviéndose dentro de un patrón de onda. Este argumento, no obstante, se basa en una mala comprensión de la naturaleza de las ondas. En la naturaleza, no existen partículas que se muevan dentro de patrones de onda. En una onda de agua, por ejemplo, las partículas de agua no se desplazan con la onda, sino que se mueven en círculos a medida que esta pasa. Del mismo modo, las partículas de aire en una onda sonora simplemente oscilan hacia delante y hacia atrás, pero no se propagan a lo largo de ella. Lo que es transportado a lo largo de la onda es la perturbación causante del fenómeno ondular, pero no alguna partícula material. Por ello en la teoría cuántica, al decir que una partícula es también una onda, no hablamos de la trayectoria de dicha partícula; lo que queremos decir es que el patrón ondular en su totalidad es una manifestación de la partícula. De esta forma, la imagen de las ondas que viajan es totalmente diferente de la de las partículas que viajan, tan diferente —en palabras de Victor Weisskopf— «como las ondas existentes en un lago y un grupo de peces que naden en la misma dirección[6]».



Una onda de agua.

El fenómeno de las ondas aparece en muchos contextos distintos de la física y siempre que ocurre puede describirse con el mismo conjunto de fórmulas matemáticas. Las mismas fórmulas matemáticas que se utilizan para describir una onda luminosa sirven para una cuerda de guitarra en vibración, una onda sonora o una onda de agua. En la teoría cuántica, estas fórmulas se emplean de nuevo para describir las ondas relacionadas con partículas. Sin embargo, en este caso, las ondas son mucho más abstractas. Están estrechamente relacionadas con la naturaleza estadística de la teoría cuántica, es decir, con el hecho de que los fenómenos atómicos pueden solo describirse en términos de probabilidades. La información sobre las probabilidades de una partícula está contenida en una cantidad llamada la función de probabilidad, y la fórmula matemática de esta cantidad es la de una onda, es decir, es similar a las fórmulas empleadas para la descripción de otros tipos de ondas. Las ondas asociadas con partículas, sin embargo, no son ondas tridimensionales «reales», como las ondas de agua o las ondas sonoras, sino que se trata de «ondas de probabilidad», cantidades matemáticas abstractas relacionadas con las probabilidades de que las partículas se hallen en ciertos lugares y con ciertas propiedades.

Las ondas de probabilidad resuelven en cierto sentido el absurdo de las partículas que son ondas, llevándolo a un contexto totalmente nuevo, pero al mismo tiempo nos conducen a otro par de conceptos opuestos tal vez más fundamental todavía: los de la existencia y la no existencia. Este par de opuestos también es trascendido por la realidad atómica. Nunca es posible decir que una partícula atómica existe en un lugar determinado, ni tampoco podemos decir que no exista. Al ser un patrón de probabilidad, la partícula tiene tendencias a existir en diversos lugares y, así, manifiesta una extraña especie de realidad física que oscila entre la existencia y la no existencia. Por lo tanto, el estado de la partícula no puede describirse en términos de

conceptos opuestos fijos. La partícula no está presente en un lugar definido, ni tampoco está ausente. No cambia su posición, ni permanece en reposo. Lo que cambia es el patrón de probabilidad y de este modo se modifican sus tendencias a existir en ciertos lugares. En palabras de Robert Oppenheimer:

> Si preguntamos por ejemplo si la posición del electrón permanece siendo la misma, hemos de decir que «no»; si preguntamos si la posición del electrón varió con el tiempo, tenemos que decir que «no»; si preguntamos si el electrón está en reposo, debemos decir que «no»; si preguntamos si está en movimiento, hemos de decir que «no[7]».

La realidad del físico atómico, al igual que la del místico oriental, trasciende el estrecho marco de los conceptos opuestos. Las palabras de Oppenheimer parecen así hacerse eco de las de los *Upanishads*:

> Se mueve. No se mueve.
> Está lejos y está cerca.
> Se encuentra dentro
> y está fuera[8].

Fuerza y materia, partículas y ondas, movimiento y reposo, existencia y no existencia, estos son algunos de los conceptos opuestos y contradictorios que se trascienden en la física moderna. De todos estos pares de opuestos, el último parece ser el más fundamental y, sin embargo, en la física atómica tenemos que ir más allá incluso de los conceptos de existencia y no existencia. Este es el aspecto de la teoría cuántica más difícil de aceptar y el que forma el núcleo de las continuas discusiones sobre su interpretación. Al mismo tiempo, trascender los conceptos de existencia y no existencia constituye también uno de los más asombrosos aspectos del misticismo oriental.

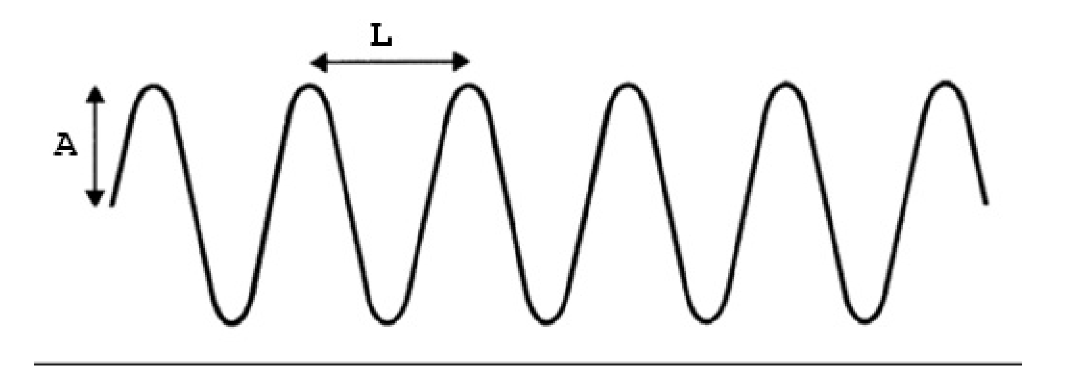
Al igual que los físicos atómicos, los místicos orientales tratan con una realidad que se encuentra más allá de la existencia y de la no existencia y con frecuencia resaltan este importante hecho. Así dice Ashvaghosha:

> La eseidad no es ni la existencia ni la no existencia, ni lo que es a la vez existencia y no existencia, ni lo que no es ni existencia ni no existencia[9].

Frente a una realidad que está más allá de los conceptos opuestos, tanto los físicos como los místicos han de adoptar una forma especial de pensamiento, donde la mente no esté fija en el rígido marco de la lógica clásica, sino que se mantenga en movimiento, variando y cambiando su punto de vista. En la física atómica, por ejemplo, estamos ya acostumbrados a aplicar a la descripción de la materia ambos conceptos, el de partícula y el de onda. Hemos aprendido a jugar con las dos imágenes, pasando de una a otra y viceversa, a fin de adaptarnos a la realidad atómica.

Esta es, precisamente, la manera en que piensan los místicos orientales, cuando tratan de interpretar su experiencia de una realidad que se encuentra más allá de los opuestos. En palabras del lama Anagarika Govinda, «la forma de pensamiento oriental consiste más bien en dar vueltas en contemplación, alrededor del objeto […] en una impresión multilateral y multidimensional, formada por la superimposición de impresiones simples, procedentes de diferentes puntos de vista[10]».

Para ver cómo es posible en la física atómica pasar de la idea de partícula a la de onda y viceversa, vamos a examinar con más detalle los conceptos de onda y partícula. Una onda es un patrón vibratorio localizado en el tiempo y en el espacio. Si lo miramos en un instante determinado del tiempo, veremos un patrón espacial periódico, como el del siguiente ejemplo. Este patrón está caracterizado por una amplitud A —la extensión de la vibración— y una longitud de onda L —la distancia entre dos crestas sucesivas.



Un patrón de onda.

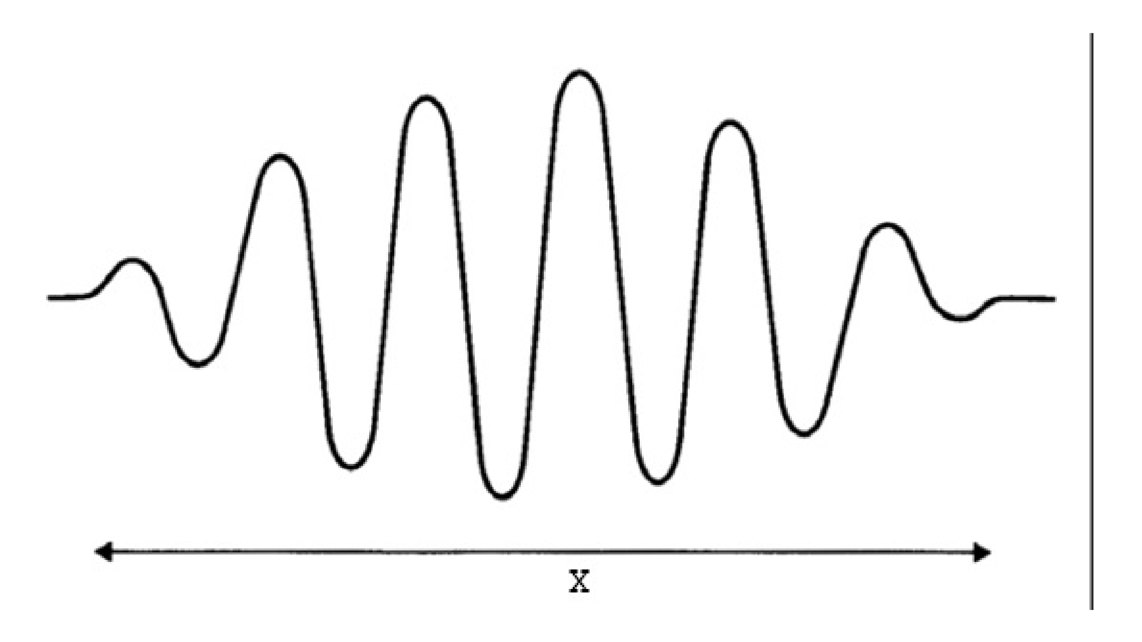
Como alternativa a esto, podemos mirar el movimiento de un punto definido de la onda y veremos una oscilación caracterizada por una cierta frecuencia: el número de veces que el punto oscila adelante y atrás cada segundo. Ahora volvamos a la imagen de la partícula. Según las ideas clásicas, una partícula tiene en todo momento una posición bien definida, y su estado de movimiento puede describirse en razón de su velocidad y su energía cinética. Las

partículas que se mueven con una alta velocidad también tienen una elevada energía. Los físicos, de hecho, usan muy raramente el concepto de «velocidad» para describir el estado de movimiento de una partícula, sino que en su lugar emplean una magnitud denominada «momento», que se define como la masa de una partícula multiplicada por su velocidad.

La teoría cuántica asocia las propiedades de una onda de probabilidad con las propiedades de la partícula correspondiente, relacionando la amplitud de onda en un lugar determinado con las probabilidades de encontrar la partícula en dicho lugar. Donde la amplitud sea grande tendremos probabilidades de encontrar la partícula, mientras que si la buscamos donde la amplitud es pequeña, será improbable hallarla. El tren de onda representado en el dibujo anterior, por ejemplo, tiene la misma amplitud en toda su longitud; por lo tanto, la partícula podrá hallarse con la misma probabilidad en cualquier parte de la onda[*1].

La información sobre el movimiento de la partícula está así contenida en la longitud de la onda y en su frecuencia. La longitud de onda es inversamente proporcional al momento de la partícula, lo cual quiere decir que una onda con una pequeña longitud de onda corresponderá a una partícula que se mueve con un momento elevado (a alta velocidad). La frecuencia de la onda es proporcional a la energía de la partícula; una onda con una frecuencia alta quiere decir que la partícula en cuestión posee una gran energía. En el caso de la luz, por ejemplo, la luz violeta tiene una frecuencia alta y una longitud de onda corta y por lo tanto se compone de fotones de alta energía y alto momento, mientras que la luz roja presenta una frecuencia baja y una longitud de onda larga, correspondiente por ello a fotones de baja energía y bajo momento.

Una onda que se propagara del modo en que lo hace la de nuestro ejemplo no nos diría mucho sobre la posición de la partícula correspondiente. Puede encontrarse con la misma probabilidad en cualquier parte de la onda. Sin embargo, con frecuencia hallamos situaciones en las que la posición de la partícula es hasta cierto punto conocida, como por ejemplo en la descripción de un electrón de un átomo. En tal caso, las probabilidades de encontrar la partícula en diversos lugares queda reducida a una zona determinada. Fuera de esta zona deben ser 0. Esto se logra mediante un modelo de onda como el del diagrama siguiente, que corresponde a una partícula confinada a la zona X. Este patrón o modelo se denomina paquete de ondas[*2].



Paquete de ondas correspondientes a una partícula situada en algún lugar de la zona X.

Se compone de varios trenes de ondas de diversas longitudes de onda, que interfieren unas con otras fuera de la zona X de manera destructiva, de modo que la amplitud total —y la probabilidad de encontrar allí la partícula— es 0, dado que el patrón está construido dentro de X. Este patrón muestra que la partícula está situada en alguna parte dentro de la zona X, pero no nos permite localizarla más allá. En cuanto a los puntos en el interior de la zona, solo podemos saber las probabilidades de presencia de la partícula (es muy probable que la partícula se encuentre en el centro, donde las amplitudes de probabilidad son amplias, y menos probable cerca de los extremos del paquete de ondas, donde las amplitudes son pequeñas). La longitud del paquete de ondas representa, por lo tanto, la incertidumbre en la localización de la partícula.

Una propiedad importante de este paquete de ondas es que no tiene una longitud de onda definida, es decir, las distancias entre dos crestas sucesivas no son siempre iguales. Existe una variación de la longitud de onda que dependerá de la longitud del paquete de ondas; cuanto más corto sea el paquete, mayor será la variación en las longitudes de onda. Esto no tiene nada que ver con la teoría cuántica, sino que sencillamente expresa las propiedades de las ondas. Los paquetes de ondas no tienen, de este modo, una longitud de onda definida.

La teoría cuántica entra en juego cuando relacionamos la longitud de onda con el momento de la partícula correspondiente. Si el paquete de ondas no presenta una longitud de onda bien definida, la partícula no tendrá un momento definido. Esto significa que no solamente existirá incertidumbre en

cuanto a la posición de la partícula, dada la longitud del paquete de ondas, sino también sobre su momento, incertidumbre esta causada por la variación de la longitud de onda. Las dos incertidumbres se hallan interrelacionadas porque la variación de la longitud de onda (es decir, la incertidumbre del momento) depende de la longitud del paquete de ondas (de la incertidumbre de la posición). Si deseamos localizar la partícula con mayor precisión, es decir, si queremos confinar su paquete de ondas en una zona más pequeña, esto supondrá un aumento de la variación de la longitud de onda y, por lo tanto, un incremento de la incertidumbre del momento de la partícula.

La fórmula matemática de esta relación existente entre las incertidumbres de posición y momento de una partícula es conocida como relación de incertidumbre de Heisenberg, o principio de incertidumbre. Esto quiere decir que, en el mundo subatómico, nunca podremos saber con gran precisión ni la posición ni el momento de una partícula. Cuanto mejor conozcamos su posición, más confuso será su momento, y viceversa. Podemos decidirnos por efectuar una medición precisa de cualquiera de estas dos magnitudes, pero eso significará que habremos de permanecer completamente ignorantes con respecto a la otra. Es importante notar, como señalaba en el capítulo anterior, que esta limitación no es causada por la imperfección de nuestras técnicas de medida, sino que se trata de una limitación de principio. Si deseamos medir con precisión la posición de una partícula, sencillamente no tendrá un momento bien definido, y viceversa.

Esta relación existente entre las incertidumbres de la posición que ocupa la partícula y su momento no constituye la única manifestación del principio de incertidumbre. Relaciones similares existen entre otras magnitudes, por ejemplo entre el tiempo que emplea un suceso atómico y la energía involucrada. Esto puede entenderse fácilmente si representamos nuestro paquete de ondas no como un modelo espacial, sino como un patrón vibratorio en el tiempo. Cuando la partícula pasa por un punto determinado de observación, las vibraciones del patrón de ondas en ese punto comenzarán con pequeñas amplitudes que aumentarán y después disminuirán de nuevo hasta que, finalmente, la vibración se detendrá. El tiempo que tarda en atravesar este patrón representa el tiempo durante el cual la partícula pasa por nuestro punto de observación. Podemos decir que el paso ocurre dentro de este lapso de tiempo, pero no podemos localizarlo más. La duración del patrón de vibración representa, de este modo, la incertidumbre sobre la ubicación temporal del suceso.

Puesto que el modelo espacial del paquete de ondas no tiene una longitud de onda bien definida, el correspondiente modelo vibratorio en el tiempo no tendrá una frecuencia bien definida. La amplitud de su frecuencia dependerá de la duración del modelo vibratorio, y como la teoría cuántica asocia la frecuencia de la onda con la energía de la partícula, la indeterminación en la frecuencia del modelo supondrá una indeterminación de la energía de la partícula. La incertidumbre en cuanto a la localización de un acontecimiento en el tiempo está, de este modo, relacionada con la incertidumbre de su energía, del mismo modo que la incertidumbre sobre la localización de la partícula en el espacio se corresponderá con una incertidumbre en la determinación de su momento. Esto significa que nunca podremos saber con exactitud ni el momento temporal en que un suceso se produce ni la energía que interviene en él. Los sucesos que ocurren dentro de un período de tiempo corto generan una gran indeterminación en cuanto a su energía; los sucesos que contienen una cantidad precisa de energía solo podrán localizarse dentro de un largo período de tiempo.

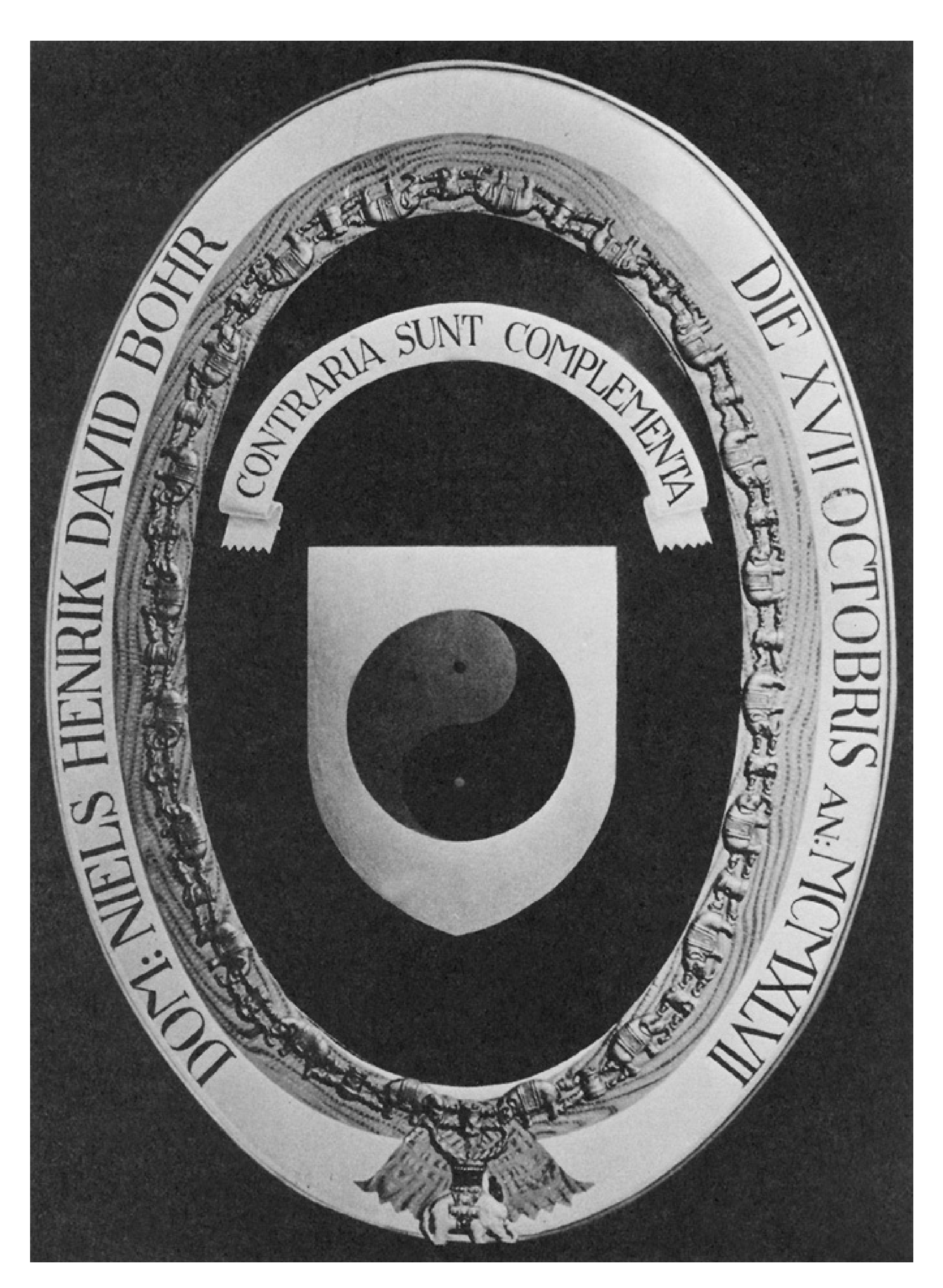
La importancia fundamental del principio de incertidumbre es que expresa las limitaciones de nuestros conceptos clásicos de una forma matemática y precisa. Como anteriormente describí, el mundo subatómico aparece así como una telaraña de relaciones entre las distintas partes de un todo unitario. Los conceptos clásicos, derivados de nuestra experiencia macroscópica ordinaria, no resultan totalmente adecuados para describir este mundo. Para empezar, el concepto de una entidad física definida, por ejemplo una partícula, es una idealización que no tiene significado real. Solamente puede definirse en función de sus conexiones con el todo, y estas conexiones son de naturaleza estadística: probabilidades, más que seguridades o certezas. Al describir las propiedades de tal entidad en términos de los conceptos clásicos, como posición, energía, momento, etc., vemos que hay pares de conceptos que están relacionados entre sí y no pueden ser simultáneamente definidos de un modo preciso. Cuanto más impongamos un concepto sobre el «objeto» físico, tanto más incierto se hará el otro concepto, y la relación exacta entre los dos la obtenemos por el principio de incertidumbre.

Para comprender mejor esta relación existente entre los pares de conceptos clásicos, Niels Bohr introdujo la idea de la complementariedad. Consideró el concepto de partícula y onda como dos descripciones complementarias de la misma realidad, cada una de ellas solo parcialmente correcta y con una gama limitada de aplicación. Para lograr una descripción completa de la realidad atómica son necesarias las dos representaciones, y

ambas deben aplicarse dentro de las limitaciones impuestas por el principio de incertidumbre.

Este concepto de complementariedad ha llegado a constituir una parte esencial del pensamiento de los físicos sobre la naturaleza, y Bohr con frecuencia sugirió que este concepto podría resultar útil también fuera del campo de la física; de hecho, la idea de complementariedad fue ya extremadamente útil hace dos mil quinientos años. Desempeñó un papel clave en el antiguo pensamiento chino, basado en la idea de que los conceptos opuestos mantienen una relación polar —complementaria— unos con otros. Los sabios chinos representaron esta complementariedad de los opuestos por medio de los polos arquetípicos yin y yang y consideraron que su interacción dinámica constituye la esencia de todos los fenómenos naturales y de todas las situaciones humanas.

Niels Bohr conocía el paralelismo existente entre su concepto de complementariedad y el pensamiento chino. Cuando en el año 1937 visitó China, en una época en la que ya había elaborado totalmente su interpretación de la teoría cuántica, se sintió profundamente impresionado por el antiguo concepto chino de los opuestos polares, y desde entonces mostró un gran interés por la cultura oriental. Diez años más tarde, le concedieron el título de caballero, como reconocimiento a sus logros en el campo de la ciencia y a su importante contribución a la vida cultural danesa. Cuando tuvo que escoger un motivo apropiado para su escudo de armas, su elección fue el símbolo chino del *t'ai chi* que representa la relación complementaria de los opuestos arquetípicos yin y yang. Al elegir este símbolo para su escudo de armas junto con la inscripción *Contraria sunt complementaria* (Los opuestos son complementarios), Bohr reconocía la profunda armonía existente entre la antigua sabiduría oriental y la moderna ciencia occidental.



Escudo heráldico de Niels Bohr.

12

ESPACIO-TIEMPO

La física moderna ha confirmado del modo más espectacular una de las ideas básicas del misticismo oriental: que todos los conceptos que empleamos para describir la naturaleza son limitados, que no son rasgos de la realidad, como se tiende a creer, sino creaciones de la mente, partes del mapa, no del territorio. Cada vez que ampliamos el ámbito de nuestra experiencia, las limitaciones de la mente racional se hacen evidentes y tenemos que modificar, o incluso abandonar, algunos de nuestros conceptos previos.

Nuestras concepciones sobre el espacio y el tiempo ocupan un lugar importante en nuestro mapa de la realidad. Nos sirven para ordenar las cosas y los acontecimientos de nuestro medio ambiente y por ello son de capital importancia, no solo en nuestra vida diaria, sino también en nuestros intentos por comprender la naturaleza, a través de la ciencia y de la filosofía. No existe una sola ley física que para su formulación no necesite de los conceptos de espacio y tiempo. La profunda modificación de estos básicos conceptos generada por la teoría de la relatividad supuso, por consiguiente, una de las mayores revoluciones acaecidas en la historia de la ciencia.

La física clásica se basaba en la idea de un espacio tridimensional, absoluto e independiente de los objetos materiales contenidos en él y que obedecía a las leyes de la geometría euclidiana. Y también sobre la idea del tiempo como una dimensión aparte, también absoluta, que fluye de un modo uniforme, e independiente del mundo material. En Occidente, estos conceptos de espacio y tiempo estaban tan profundamente arraigados en las mentes de los filósofos y de los científicos que se consideraban propiedades de la naturaleza verdaderas e incuestionables.

La creencia de que la geometría era algo inherente a la naturaleza, en lugar de formar parte del esquema que empleamos para describirla, procede del pensamiento griego. La geometría demostrativa constituía la parte central de las matemáticas griegas y tenía una profunda influencia sobre la filosofía. Su método de hallar los teoremas mediante el razonamiento deductivo a partir

de axiomas incuestionables se convirtió en la característica central del pensamiento filosófico griego. Así, la geometría se hallaba en el mismo centro de todas las actividades intelectuales y constituía la base de todo adiestramiento filosófico. Se dice que en la verja de entrada a la Academia de Platón, en Atenas, había una inscripción que decía: «No te está permitido entrar aquí, a menos que sepas geometría». Los griegos creían que sus teoremas matemáticos eran expresiones de verdades eternas y exactas del mundo real y que las formas geométricas eran manifestaciones de la belleza absoluta. Según ellos, la geometría era la combinación perfecta de la lógica y la belleza y, así, se creyó en su origen divino. De ahí la sentencia de Platón: «Dios es geómetra».

Puesto que la geometría se consideraba una revelación de Dios, para los griegos era obvio que el Cielo mostraba formas geométricas perfectas. Es decir, que los cuerpos celestes tenían que moverse en círculos. Para que la imagen fuera todavía más geométrica, se los creía fijos en una serie de esferas cristalinas concéntricas, que se movían como un todo, con la Tierra en el centro.

En los siglos siguientes, la geometría griega continuó ejerciendo una fuerte influencia sobre la filosofía y la ciencia de Occidente. *Los Elementos* de Euclides fue un libro de texto usual en las escuelas europeas hasta principios del siglo XX, y la geometría euclidiana se tuvo durante más de mil años como la verdadera naturaleza del espacio. Fue necesario un Einstein para hacer ver a los científicos y filósofos que la geometría no es algo inherente a la naturaleza, sino que fue impuesta sobre ella por la mente. En palabras de Henry Margenau:

> El principal descubrimiento de la teoría de la relatividad es que la geometría […] es una creación del intelecto. Solo una vez aceptado esto, podrá la mente sentirse libre para manejar los consagrados conceptos de espacio y tiempo, examinar la gama de posibilidades adecuada para definirlos y seleccionar la formulación que concuerde con las observaciones efectuadas[1].

La filosofía oriental, al contrario que la griega, siempre mantuvo que el espacio y el tiempo son creaciones de la mente. Los místicos orientales los trataron como a todos los demás conceptos intelectuales: como algo relativo, limitado e ilusorio. En un texto budista, por ejemplo, hallamos estas palabras:

> El Buda enseñó, oh monjes, que […] el pasado, el futuro, el espacio físico […] y las individualidades no son más que nombres, formas de pensamiento, palabras de uso común, realidades meramente superficiales[2].

Así, en el Lejano Oriente, la geometría nunca logró el estatus alcanzado en la antigua Grecia, aunque esto no significa que los hindúes y los chinos tuvieran poco conocimiento de ella, pues la empleaban en la construcción de altares de formas geométricas precisas, en la medición de las tierras y en la cartografía de los cielos, pero nunca para determinar verdades abstractas y eternas. Esta actitud filosófica también quedó reflejada en el hecho de que la antigua ciencia de aquellas culturas generalmente no consideraba necesario encajar a la naturaleza en un diagrama formado por líneas rectas y círculos perfectos. Las observaciones de Joseph Needham sobre la astronomía china son muy interesantes a este respecto:

> Los [astrónomos] chinos no sintieron necesidad de usar en sus explicaciones las formas [geométricas]; los componentes del organismo universal seguían su Tao, cada uno de acuerdo con su propia naturaleza y sus movimientos pudieron ser tratados en la forma esencialmente «no representativa» del álgebra. De este modo, los chinos se vieron libres de la obsesión de los astrónomos europeos por el círculo como la figura más perfecta […] y tampoco experimentaron la prisión medieval de las esferas cristalinas[3].

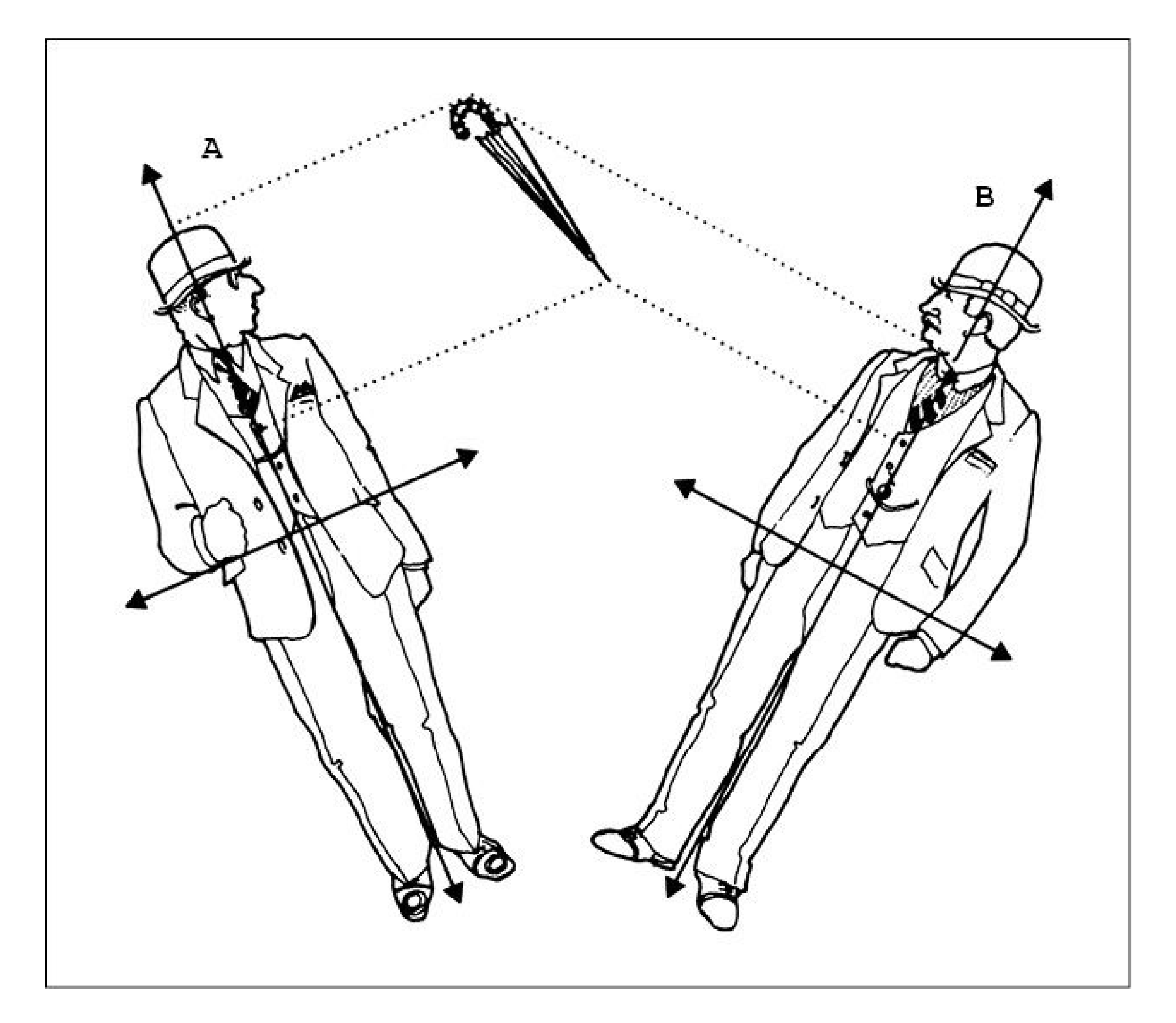
Así, los antiguos filósofos y científicos orientales tenían ya la disposición que sería tan básica para la teoría de la relatividad: considerar que nuestras nociones de geometría no son propiedades de la naturaleza, absolutas e inamovibles, sino construcciones intelectuales. En palabras de Ashvaghosha:

> Que quede claro que el espacio no es más que un modo de particularización y que no tiene una existencia real por sí mismo […]. El espacio solo existe en relación con nuestra conciencia particularizante[4].

Lo mismo ocurre con nuestra idea del tiempo. Los místicos orientales relacionan las nociones de espacio y tiempo con estados de conciencia particulares. Al ser capaces de ir más allá del estado ordinario de conciencia

mediante la meditación, advirtieron que los conceptos convencionales de espacio y tiempo no constituyen la verdad definitiva. Las refinadas concepciones del espacio y del tiempo resultantes de sus experiencias místicas parecen en muchos aspectos similares a las de la física moderna, como claramente demuestra la teoría de la relatividad.

¿Cuál es, pues, esta nueva concepción del espacio y del tiempo que surgió de la teoría de la relatividad? Está basada en el descubrimiento de que toda medición de espacio o tiempo es relativa. La relatividad de los datos espaciales no era, desde luego, nada nuevo. Antes de Einstein, se sabía ya muy bien que la posición de un objeto en el espacio puede solo definirse en relación con algún otro objeto. Esto se logra generalmente con ayuda de tres coordenadas, y el lugar desde el cual se miden las coordenadas es el punto de ubicación del observador.



Dos observadores, A y B, observando un paraguas.

Para ilustrar la relatividad de tales coordenadas, imaginemos dos observadores que flotan en el espacio y están observando un paraguas, tal como muestra el dibujo. El observador A ve el paraguas a su izquierda y ligeramente inclinado, de forma que el extremo superior está más cerca de él. El observador B, por el contrario, ve el paraguas a su derecha y de tal manera que el extremo superior está más alejado. Si extendemos a tres dimensiones este ejemplo bidimensional, quedará claro que todos los datos espaciales —tales como *izquierda, derecha, arriba, abajo, oblicuo*, etc.— dependerán totalmente de la situación del observador y por tanto serán relativos.

Todo esto ya era conocido mucho tiempo antes de surgir la teoría de la relatividad. En lo que al tiempo se refiere, la situación era del todo diferente. El orden temporal de dos sucesos se consideraba totalmente independiente de cualquier observador. Los adjetivos temporales —tales como *antes, después* o *simultáneo*— se creía que tenían un significado absoluto, independiente de cualquier sistema de coordenadas.

Einstein descubrió que las ubicaciones temporales también son relativas y dependen del observador. En la vida diaria, la impresión de que es posible ordenar los sucesos que nos rodean en una secuencia temporal única se produce por el hecho de que la velocidad de la luz —300 000 kilómetros por segundo— es tan alta comparada con cualquier otra velocidad que podamos experimentar que resulta factible suponer que estamos observando los sucesos en el mismo instante en que ocurren. Sin embargo, eso es incorrecto. La luz necesita un tiempo para viajar desde el suceso hasta el observador. Normalmente, este tiempo es tan corto que la propagación de la luz puede considerarse instantánea, pero cuando el observador se mueve a una velocidad elevada con relación a los fenómenos observados, el período de tiempo transcurrido entre el suceso y su observación desempeña un papel crucial a la hora de establecer la secuencia de los acontecimientos. Einstein advirtió que, en este caso, observadores que se movieran a velocidades diferentes ordenarían los sucesos en el tiempo de un modo distinto[*1]. Dos sucesos que un observador considera que ocurren simultáneamente pueden darse en diferentes secuencias de tiempo para otros. Con las velocidades ordinarias, la diferencia es tan pequeña que no puede detectarse, pero cuando las velocidades se aproximan a la de la luz, los efectos son ya medibles. En la física de alta tecnología, donde los sucesos son interacciones entre partículas que se mueven casi a la velocidad de la luz, la relatividad del tiempo es algo bien establecido y se ha confirmado por incontables experimentos[*2].

Esta relatividad del tiempo nos obliga también a abandonar el concepto newtoniano del espacio absoluto. Dicho espacio se consideraba que contenía una configuración de materia definida en cada momento; sin embargo, ahora que la simultaneidad es un concepto relativo, que depende del movimiento del observador, ya no es posible definir tal instante determinado para la totalidad del universo. Un suceso distante que para un observador tiene lugar en algún momento determinado puede suceder antes o después para otro. Por lo tanto, no es posible hablar del «universo en un momento dado» de una manera absoluta. No existe un espacio absoluto, independiente del observador.

La teoría de la relatividad ha venido así a demostrar que todas las mediciones que impliquen espacio y tiempo carecen de significado absoluto y nos ha obligado a abandonar los conceptos clásicos de espacio y tiempo como magnitudes absolutas. Mendel Sachs expresó la fundamental importancia de esta evolución con las siguientes palabras:

> La verdadera revolución que trajo la teoría de Einstein fue el abandono de la idea de que el sistema de coordenadas de espacio y tiempo tenía un significado objetivo como entidad física independiente. En lugar de esta idea, la teoría de la relatividad nos dice que las coordenadas de espacio y tiempo son solo los elementos de un lenguaje, que es utilizado por un observador para describir su medio ambiente[5].

Esta afirmación, hecha por un físico contemporáneo, nos muestra la estrecha afinidad existente entre las nociones de espacio y tiempo de la física moderna y las de los místicos orientales, quienes, como ya mencioné antes, sostienen que el espacio y el tiempo «no son más que nombres, formas de pensamiento, palabras de uso común».

Al quedar el espacio y el tiempo reducidos al subjetivo papel de elementos del lenguaje utilizado por un determinado observador para describir los fenómenos naturales, cada observador describirá dichos fenómenos de un modo diferente. Si de sus descripciones inferimos algunas leyes naturales del universo, estas leyes tendrán que ser formuladas de tal modo que tengan la misma forma en todos los sistemas de coordenadas, es decir, que sean válidas para todos los observadores, aunque estos se hallen en posiciones diferentes y tengan movimientos distintos. Este requisito es conocido como principio de la relatividad y fue, de hecho, el punto de partida de la teoría de la relatividad.

Es interesante ver que el germen de esta teoría se hizo aparente en algo que se le ocurrió a Einstein cuando tenía dieciséis años. Trató de imaginar cómo le parecería un rayo de luz a un observador que viajase con él a la velocidad de la luz y llegó a la conclusión de que tal observador vería el rayo de luz como un campo electromagnético que oscilaría hacia atrás y hacia delante, sin moverse, es decir, sin formar una onda. Tal fenómeno, sin embargo, es desconocido en física. Así, al joven Einstein le pareció que algo que un observador veía como un fenómeno electromagnético bien conocido, digamos una onda de luz, aparecería para otro observador como un fenómeno contrario a las leyes de la física, y esto no podía aceptarlo. Años después, comprendió que el principio de la relatividad encaja con la descripción de los fenómenos electromagnéticos; solo las coordenadas espaciales y temporales son relativas. Eso significa que las leyes de la mecánica, que gobiernan los fenómenos relacionados con los cuerpos en movimiento y también las leyes de la electrodinámica, la teoría de la electricidad y el magnetismo pueden formularse dentro de un marco común «relativista» que integra el tiempo a las tres coordenadas de espacio, como una coordenada más, que depende del observador.

Para comprobar si el principio de la relatividad se cumple, es decir, si las ecuaciones de una teoría permanecen idénticas en todos los sistemas de coordenadas, es necesario traducir los datos de espacio y tiempo de un «marco de referencia» o sistema de coordenadas a otro. Estas conversiones o «transformaciones», como se denominan, ya eran bien conocidas y ampliamente utilizadas en la física clásica. La transformación entre los dos marcos de referencia representados en el dibujo anterior, por ejemplo, considera a cada una de las dos coordenadas del observador A (una horizontal y una vertical, como indican las flechas del dibujo) como una combinación de las coordenadas del observador B, y viceversa. Los resultados exactos pueden obtenerse fácilmente con ayuda de la geometría elemental.

En la física relativista, se presenta una situación nueva, pues hay que añadir el tiempo a las tres coordenadas espaciales, como una cuarta dimensión. Puesto que las transformaciones entre diferentes marcos de referencia muestran cada coordenada de uno de los marcos como una combinación de las de los demás, la coordenada «espacio» de uno de los marcos aparecerá en el resto como una mezcla de las coordenadas de espacio y tiempo. Esta es una situación totalmente nueva, pues cada cambio de sistemas de coordenadas mezcla el espacio y el tiempo de una forma matemáticamente bien definida. Dejan de estar separados, pues lo que es

espacio para un observador será una mezcla de espacio y tiempo para otro. La teoría de la relatividad ha demostrado que el espacio no es tridimensional y que el tiempo no es una entidad separada. Los dos están íntima e inseparablemente relacionados y forman un continuo cuatridimensional denominado «espacio-tiempo». Este concepto de espacio-tiempo fue presentado por Hermann Minkowski en una famosa conferencia que dio en 1908, con las siguientes palabras:

> Los puntos de vista sobre el espacio y el tiempo que deseo exponer ante ustedes han surgido del campo de la física experimental, y en esto consiste su fuerza. Son radicales. Desde hoy en adelante el espacio por sí solo y el tiempo por sí solo están destinados a desvanecerse en meras sombras, y únicamente algún tipo de unión entre ambos conservará realidad independiente[6].

Los conceptos de espacio y tiempo son tan básicos para la descripción de los fenómenos naturales que su modificación supone alterar todo el marco utilizado por la física para describir la naturaleza. En este nuevo marco, el espacio y el tiempo se tratan del mismo modo y están inseparablemente unidos. En la física relativista no es posible hablar de espacio sin hablar también de tiempo, y viceversa. Este nuevo patrón tendrá que ser utilizado siempre que se describan fenómenos que impliquen altas velocidades.

El íntimo lazo existente entre el espacio y el tiempo era ya bien conocido en astronomía, aunque en un contexto diferente, mucho antes de que surgiera la teoría de la relatividad.

Los astrónomos y astrofísicos tratan con distancias extremadamente grandes, y una vez más es importante en este caso el hecho de que la luz necesita tiempo para viajar desde el objeto observado hasta el observador. A causa de la velocidad finita de la luz, el astrónomo nunca ve el universo en su estado presente, sino que siempre lo hace mirando hacia atrás, al pasado. La luz tarda ocho minutos en viajar desde el Sol hasta la Tierra, lo que quiere decir que, en cualquier momento, vemos el Sol como era hace ocho minutos. Del mismo modo, vemos la estrella más próxima como existía hace cuatro años, y con los telescopios más potentes podemos ver las galaxias como existieron hace millones de años.

La velocidad finita de la luz no es en absoluto una desventaja para los astrónomos, sino que más bien constituye una gran ventaja. Les permite observar la evolución de las estrellas, grupos de estrellas o galaxias en todas

sus fases, tan solo observando dentro del espacio y hacia atrás en el tiempo. Todos los tipos de fenómenos ocurridos durante los últimos millones de años pueden observarse hoy en alguna parte de los cielos. De este modo, los astrónomos están habituados a la estrecha relación existente entre espacio y tiempo. Lo que nos dice la teoría de la relatividad es que esta relación es importante no solo cuando tratamos con grandes distancias, sino también cuando lo hacemos con altas velocidades. Incluso aquí en la Tierra, la medición de cualquier distancia no es independiente del tiempo, pues esta deberá incluir el estado de movimiento del objeto, y por consiguiente una referencia al tiempo.

La unificación de espacio y tiempo supone —como ya mencioné en el capítulo anterior— una unificación de otros conceptos básicos, y precisamente este aspecto unificador constituye el rasgo más característico de la estructura relativista. Conceptos que parecían sin relación alguna en la física no relativista son ahora considerados aspectos diferentes de un mismo y único concepto. Esta característica le confiere al marco relativista una gran elegancia y belleza matemática. Muchos años de trabajo con la teoría de la relatividad nos han hecho apreciar esta elegancia y llegar a familiarizarnos totalmente con su formulismo matemático. Sin embargo, todo esto no ha ayudado mucho a nuestra intuición. Carecemos de experiencia sensorial directa del espacio-tiempo cuatridimensional, y también de todos los demás conceptos relativistas. Cada vez que estudiamos fenómenos naturales en los que se dan altas velocidades, nos resulta muy difícil tratar con estos conceptos al nivel de la intuición y del lenguaje ordinario.

Por ejemplo, en la física clásica se suponía que una vara, ya se halle en movimiento o reposo, tendrá siempre la misma longitud. La teoría de la relatividad ha demostrado que esto no es cierto. La longitud de un objeto depende de su movimiento con relación al observador y cambia con la velocidad de ese movimiento. Este cambio ocurre de tal modo que el objeto se contrae en la dirección de su movimiento. Una vara tiene su longitud máxima en un marco de referencia cuando está en reposo y se hace más corta a medida que su velocidad aumenta con relación al observador. En los experimentos de «dispersión» de la física de alta energía, donde las partículas colisionan a velocidades extremadamente altas, la contracción relativista es tan extrema que las partículas esféricas quedan reducidas a «tortitas».

Es importante darnos cuenta de que no tiene sentido preguntar cuál es la longitud «real» de un objeto, del mismo modo que en la vida diaria no lo tiene preguntar la verdadera longitud de la sombra de alguien. La sombra es una

proyección de puntos de espacio tridimensional en un plano de dos dimensiones, y su longitud será diferente si los ángulos de proyección son distintos. Del mismo modo, la longitud de un objeto en movimiento es la proyección en un espacio de tres dimensiones de puntos de un espacio-tiempo cuatridimensional y su longitud será diferente si los marcos de referencia varían.

Lo mismo que ocurre con las distancias ocurre con los intervalos de tiempo, pues también dependen de los marcos de referencia; sin embargo, al contrario que las distancias espaciales, se hacen más largos a medida que la velocidad relativa al observador aumenta. Esto significa que los relojes en movimiento van más despacio, el tiempo se ralentiza. Estos relojes pueden ser de cualquier tipo: mecánicos, atómicos o incluso el latido de un corazón humano. Si uno de dos gemelos hiciera un largo y rápido viaje por el espacio exterior, al volver sería más joven que su hermano, porque todos sus «relojes» —el latido de su corazón, su flujo sanguíneo, sus ondas cerebrales, etc.— habrían ido más despacio durante el viaje, desde el punto de vista del hombre de la Tierra. El propio viajero no advertiría nada anormal, pero a su regreso se asombraría al ver que su hermano gemelo sería mucho más viejo que él. Tal vez este «absurdo de los gemelos» sea el más famoso de la física moderna. Ha provocado acaloradas discusiones en publicaciones científicas, algunas de las cuales todavía continúan: prueba elocuente de que la realidad descrita por la teoría de la relatividad no es fácil de comprender.

El retraso experimentado por los relojes en movimiento, por increíble que pueda parecer, es algo perfectamente comprobado en la física de las partículas. La mayor parte de las partículas subatómicas son inestables, es decir, después de cierto tiempo se desintegran en otras partículas. Numerosos experimentos han confirmado el hecho de que el tiempo de vida de una partícula inestable depende de su movimiento. Si aumenta la velocidad de la partícula, su tiempo de vida aumenta igualmente[*3]. Las partículas que se mueven a una velocidad que suponga el 80% de la velocidad de la luz viven aproximadamente 1,7 veces más que sus «hermanas gemelas» más lentas, y si su velocidad es el 99% de la velocidad de la luz, viven aproximadamente 7 veces más. Esto no quiere decir que el tiempo de vida intrínseco de la partícula varíe. Desde el punto de vista de esta, su tiempo de vida es siempre el mismo; sin embargo, desde el punto de vista del observador que está en el laboratorio el «reloj interno» de la partícula se ha retrasado y, por lo tanto, vive más tiempo.

Todos estos efectos relativistas parecen extraños porque con nuestros sentidos no experimentamos el espacio-tiempo cuatridimensional, sino que solo podemos observar sus «reflejos tridimensionales». Estos reflejos o imágenes tendrán aspectos diferentes en marcos de referencia diferentes. Los objetos en movimiento parecen distintos de los objetos en reposo, y los relojes en movimiento funcionan a otro ritmo. Estos efectos parecerán absurdos si no nos damos cuenta de que son solo las proyecciones tridimensionales de fenómenos que tienen lugar en cuatro dimensiones, de la misma manera que las sombras son proyecciones de objetos tridimensionales. Si pudiésemos captar la realidad espacio-temporal cuatridimensional, veríamos que en ella no hay nada absurdo.

Los místicos orientales, como antes mencioné, parecen ser capaces de alcanzar estados de conciencia no ordinarios, en los cuales trascienden el mundo tridimensional de la vida cotidiana, llegando a experimentar una realidad multidimensional, más elevada. Así, Aurobindo habla de «un cambio sutil que hace que la vista vea en una especie de cuarta dimensión[7]». Las dimensiones de estos estados de conciencia tal vez no sean las mismas que las que estamos tratando en la física relativista, pero resulta sorprendente que hayan guiado a los místicos hacia conceptos de espacio y tiempo muy similares a los manejados en la teoría de la relatividad.

Una poderosa intuición sobre el carácter «espacio-temporal» de la realidad parece imbuir a todo el misticismo oriental. El hecho de que espacio y tiempo estén inseparablemente ligados, algo tan característico de la física relativista, es resaltado una vez y otra por los místicos. Esta idea intuitiva del espacio y del tiempo tuvo, quizá, su más clara expresión y su elaboración más trascendental dentro del budismo, y en particular en la escuela Avatamsaka del budismo Mahayana. El *Sutra Avatamsaka*, que constituye el fundamento de esta escuela, da una vívida descripción de cómo se experimenta el mundo en el estado iluminado. La conciencia de la «interpenetración del espacio y el tiempo», expresión perfecta para describir la realidad espacio-temporal, se resalta repetidamente en dicho sutra y está considerada como la característica esencial del estado mental iluminado. En palabras de D. T. Suzuki:

> El significado del *Sutra Avatamsaka* y de su filosofía será incomprensible a menos que experimentemos […] un estado de completa disolución, donde no exista diferenciación entre la mente y el cuerpo, entre el sujeto y el objeto […]. Entonces miramos alrededor y vemos eso […] que cada objeto está relacionado con

> todos los demás objetos […] no solo espacialmente, sino temporalmente […]. Experimentamos que no hay espacio sin tiempo, que no hay tiempo sin espacio; que se interpenetran[8].

Casi no se podría encontrar mejor manera de describir el concepto relativista espacio-temporal. Comparando lo expresado por Suzuki con la cita anterior de Minkowski, es también interesante observar que tanto el físico como el budista hacen resaltar el hecho de que sus ideas espacio-temporales están basadas en la experiencia, científica en un caso y mística en otro.

En mi opinión, la intuición de los místicos orientales sobre el tiempo constituye una de las principales razones por las que sus conceptos sobre la naturaleza parecen encajar, en general, mucho mejor con los conceptos científicos modernos de lo que ocurre con la mayoría de los conceptos filosóficos griegos. La filosofía natural griega era, en conjunto, esencialmente estática y generalmente estaba basada en consideraciones geométricas. Podríamos decir que era extremadamente «no relativista», y su fuerte influencia sobre el pensamiento occidental puede muy bien ser uno de los motivos por los que en la actualidad seguimos teniendo dificultades conceptuales tan grandes con los modelos relativistas de la física moderna. Las filosofías orientales, sin embargo, son filosofías «espacio-temporales», y por ello su intuición se aproxima más a la concepción de la naturaleza que presentan nuestras modernas teorías relativistas.

La evidencia de que espacio y tiempo se hallan íntimamente relacionados y se interpenetran hace que los puntos de vista sobre el mundo tanto de la física moderna como del misticismo oriental sean intrínsecamente dinámicos y contengan el tiempo y el cambio como elementos esenciales. Esto lo trataremos con mayor detalle en el capítulo siguiente, pues constituye el segundo tema principal, que se repite frecuentemente a lo largo de esta comparación entre la física y el misticismo oriental —el primero es la unidad de todas las cosas y sucesos—. Al ir estudiando los modelos y las teorías relativistas de la física moderna, veremos que todos ellos resultan impresionantes ilustraciones de los dos elementos básicos de la visión oriental del mundo: la unidad de todo el universo y su carácter intrínsecamente dinámico.

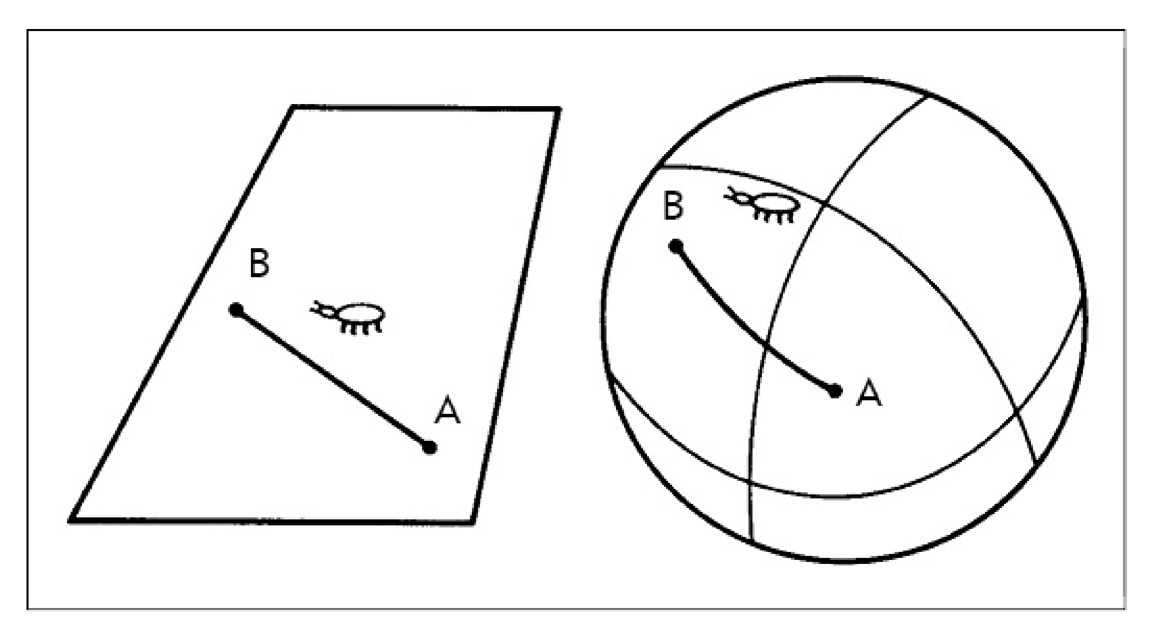
La teoría de la relatividad tratada hasta ahora se conoce con el nombre de «teoría especial de la relatividad». Suministra un marco común para la descripción de los fenómenos relacionados con los cuerpos en movimiento y con la electricidad y el magnetismo; los rasgos básicos de este marco son la

relatividad del espacio y el tiempo y su unificación dentro del espacio-tiempo cuatridimensional.

En la «teoría general de la relatividad», el marco de la teoría especial se amplía para incluir la gravedad. El efecto de la gravedad, según la relatividad general, es curvar el espacio-tiempo. Esto, de nuevo, resulta bastante difícil de imaginar. Podemos imaginar con facilidad una superficie bidimensional curvada, como por ejemplo la de un huevo, pues somos capaces de ver tales superficies curvadas en nuestro espacio tridimensional. El significado de la palabra *curvatura* para las superficies curvadas bidimensionales está así bastante claro, pero al llegar al espacio tridimensional —dejemos a un lado el espacio-tiempo cuatridimensional—, nuestra imaginación nos abandona ya. Puesto que no podemos ver el espacio tridimensional desde fuera, es imposible imaginar cómo puede «doblarse en alguna dirección».

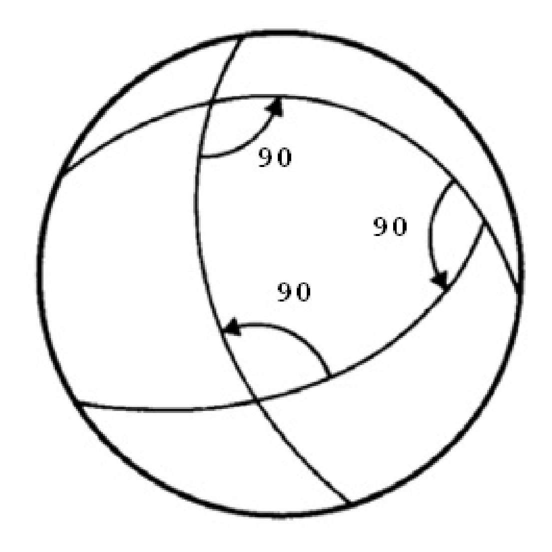
Para comprender este espacio-tiempo curvo, nos vemos obligados a emplear superficies curvas bidimensionales como analogías. Imaginemos, por ejemplo, la superficie de una esfera. El hecho importante que hace posible la analogía con el espacio-tiempo cuatridimensional es que la curvatura es una propiedad intrínseca de esa superficie y puede medirse sin necesidad de adentrarnos en el espacio tridimensional. Un insecto bidimensional que caminara por la superficie de una esfera y fuera incapaz de experimentar el espacio tridimensional podría, no obstante, averiguar que la superficie sobre la que está viviendo se encuentra curvada, siempre que fuera capaz de hacer mediciones geométricas.

Para comprender esto, tenemos que comparar la geometría de nuestro bichito de la esfera con la de un insecto similar que estuviera sobre una superficie plana[*4]. Supongamos que los dos insectos comienzan sus estudios de geometría dibujando una línea recta, definida con el camino más corto entre dos puntos. El resultado se muestra a continuación.

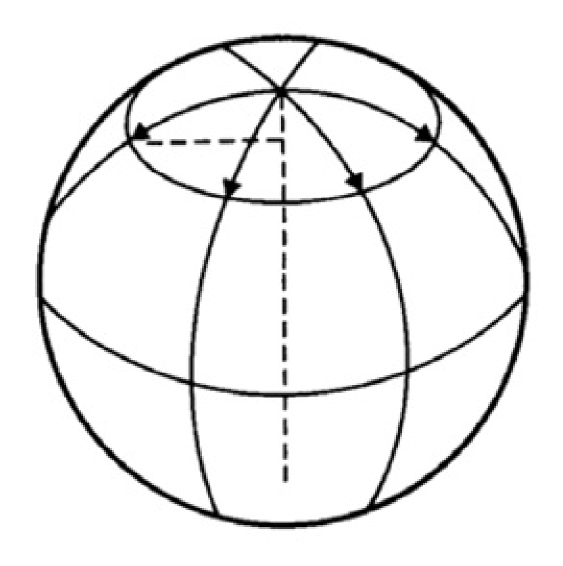


Dibujo de una «línea recta» sobre un plano y sobre una esfera

Vemos que el insecto de la superficie plana ha trazado una preciosa línea recta, pero ¿qué hizo el insecto de la esfera? Para él, la línea que trazó es el camino más corto entre los dos puntos A y B, dado que cualquier otra línea que pudiera dibujar sería más larga; sin embargo, desde nuestro punto de vista la reconocemos como curva (concretamente como el arco de un gran círculo). Ahora supongamos que los dos insectos estudian los triángulos. El bichito que está sobre el plano descubrirá que los tres ángulos de cualquier triángulo suman dos ángulos rectos, es decir, 180 grados; sin embargo, el que está en la esfera descubrirá que la suma de los ángulos de sus triángulos es siempre mayor de 180 grados. En triángulos pequeños, la diferencia será mínima, pero aumenta a medida que los triángulos se hacen más grandes; y como caso extremo, nuestro insecto de la esfera será capaz incluso de dibujar triángulos con tres ángulos rectos.



Sobre una esfera, un triángulo puede tener tres ángulos rectos.



Dibujo de un círculo sobre una esfera.

Finalmente, dejemos que ambos animales tracen círculos y midan su circunferencia. El insecto que está sobre el plano descubrirá que la longitud de la circunferencia es siempre igual al radio multiplicado por 2π, independientemente del tamaño del círculo. Sin embargo, el de la esfera deducirá que la longitud de su circunferencia será siempre menor que el radio multiplicado por 2π. Como se puede ver en las figuras, nuestro punto de vista tridimensional nos permite observar que lo que el insecto llama radio de su círculo es en realidad una curva, que por lo tanto será siempre más larga que el verdadero radio del círculo.

A medida que los dos insectos progresan en su estudio de la geometría, el que se encuentra sobre el plano descubrirá los axiomas y las leyes de la

geometría euclidiana; sin embargo, su colega de la esfera descubrirá leyes diferentes. La diferencia será mínima en el caso de figuras geométricas pequeñas, pero aumentará cuando las figuras se hagan más grandes. Este ejemplo de los dos insectos nos demuestra que es posible averiguar si una superficie es curvada o no haciendo sencillamente mediciones geométricas sobre ella y comparando los resultados con los establecidos por la geometría euclidiana. Si existe alguna discrepancia, la superficie será curva y cuanto mayor sea dicha discrepancia —para un tamaño dado de las figuras—, más fuerte resultará la curvatura en cuestión.

Del mismo modo, podemos definir un espacio tridimensional curvo como aquel en el que la geometría euclidiana no es válida. Las leyes de la geometría en dicho espacio serán diferentes, de un tipo «no euclidiano». Tal geometría no euclidiana fue ya presentada como una idea matemática puramente abstracta en el siglo XIX por el matemático Georg Riemann, aunque no la consideraron más que eso, una idea abstracta, hasta que Einstein hizo la revolucionaria declaración de que el espacio tridimensional en el que vivimos es realmente curvo. Según la teoría de Einstein, la curvatura del espacio es producida por los campos gravitacionales de los cuerpos sólidos. Siempre que haya un objeto sólido, el espacio que lo rodee será curvo, y el grado de curvatura, es decir, el grado en que la geometría se desviará del modelo de Euclides, dependerá de la masa del objeto.

Las ecuaciones que relacionan la curvatura del espacio con la distribución de la materia en ese espacio se denominan ecuaciones de campo de Einstein. Pueden aplicarse no solo para determinar las variaciones locales de la curvatura en la proximidad de las estrellas y de los planetas, sino también para averiguar si existe una curvatura de conjunto en el espacio a gran escala. Esto es, las ecuaciones de Einstein pueden emplearse para determinar la estructura del universo como un todo. Desgraciadamente, no dan una respuesta única. Varias soluciones matemáticas son posibles para estas ecuaciones, y estas soluciones constituyen los diversos modelos de universo estudiado en cosmología, algunos de los cuales veremos en los siguientes capítulos. Averiguar cuál de ellos corresponde a la estructura real de nuestro universo constituye la principal tarea de la cosmología actual.

Dado que en la teoría de la relatividad el espacio nunca puede separarse del tiempo, la curvatura causada por la gravedad no podrá estar limitada al espacio tridimensional, sino que deberá extenderse al espacio-tiempo cuatridimensional y esto es, en realidad, lo que predice la teoría de la relatividad. En un espacio-tiempo curvo, las distorsiones originadas por la

curvatura afectan no solo a las relaciones espaciales descritas por la geometría, sino también a las longitudes de los intervalos de tiempo. El tiempo no fluye allí en la misma proporción que en el «espacio-tiempo plano», y a medida que la curvatura varíe de un lugar a otro, según sea la distribución de los cuerpos sólidos, lo mismo ocurrirá con el flujo del tiempo. Sin embargo, es importante advertir que esta variación del flujo del tiempo podrá ser percibida solo por un observador que permanezca en un lugar diferente del ocupado por los relojes usados para medir la variación. Si el observador, por ejemplo, fuese a un lugar donde el tiempo va más despacio, todos sus relojes se atrasarían también y no tendría forma de medir esta variación.

En nuestro entorno terrestre, los efectos de la gravedad sobre el tiempo y el espacio son tan pequeños que resultan insignificantes; sin embargo, en astrofísica, ciencia que trata con cuerpos extremadamente sólidos, como planetas, estrellas y galaxias, la curvatura del tiempo sí es un fenómeno importante. Todas las observaciones han confirmado la teoría de Einstein y, así, nos obligan a creer que el espacio-tiempo es en realidad curvo. Los efectos más exagerados de la curvatura del espacio-tiempo se muestran durante el colapso gravitacional de una estrella sólida. Según las ideas actualmente vigentes en astrofísica, toda estrella llega en su evolución a una etapa en la que se colapsa, debido a la mutua atracción gravitacional de sus partículas. Puesto que esta atracción aumenta con gran rapidez a medida que disminuye la distancia entre las partículas, el colapso se acelera y, si la masa de la estrella es lo suficientemente grande, es decir, si su masa es dos o más veces la del Sol, ningún proceso conocido podrá evitar que el colapso continúe indefinidamente.

Al colapsarse la estrella e irse haciendo cada vez más densa, la fuerza de la gravedad sobre su superficie es cada vez mayor, y como consecuencia el espacio-tiempo que la rodea se hace cada vez más curvo. Debido al aumento de la fuerza de gravedad que tiene lugar en la superficie de la estrella, es cada vez más difícil alejarse de ella, y finalmente la estrella alcanza una etapa en la que nada —ni siquiera la luz— podrá escapar a la atracción que se da en su superficie. En esta etapa, decimos que alrededor de la estrella se forma un «horizonte en calma», pues ninguna señal que pudiera comunicar suceso alguno al mundo exterior escapa de ella. El espacio que rodea a la estrella es entonces tan extremadamente curvado que toda la luz queda atrapada en él y es incapaz de escapar. No vemos tal estrella, porque su luz nunca podrá llegar hasta nosotros, y por esta razón se la llama agujero negro. La existencia de

agujeros negros fue predicha al principio de la teoría de la relatividad, sobre el año 1916, y ha recibido últimamente gran atención, pues algunos fenómenos estelares descubiertos recientemente podrían indicar la existencia de una pesada estrella que gira alrededor de una compañera invisible, que podría ser un agujero negro.

Los agujeros negros se hallan entre los fenómenos más misteriosos y fascinantes investigados por la astrofísica moderna y muestran los efectos de la teoría de la relatividad de la manera más espectacular. La gran curvatura del espacio-tiempo que los rodea no solo impide que su luz llegue hasta nosotros, sino que tiene un efecto igual de sorprendente sobre el tiempo. Si un reloj que nos mandara sus señales se uniese a la superficie de la estrella que sufre el colapso, observaríamos cómo sus señales se hacen más lentas a medida que la estrella se aproximase al «horizonte en calma», y una vez esta se convirtiese en agujero negro, ya no llegaría hasta nosotros ninguna señal del reloj. Para un observador externo, el flujo de tiempo en la superficie de la estrella irá cada vez más despacio mientras esta se colapsa, deteniéndose por completo en el horizonte en calma. Por lo tanto, el colapso completo de la estrella tarda un tiempo infinito. Sin embargo, la estrella misma no experimenta nada peculiar cuando se colapsa más allá del horizonte en calma. El tiempo continúa fluyendo en ella con normalidad y el colapso se completa después de un período finito de tiempo, cuando la estrella se ha contraído hasta un punto de densidad infinita. De este modo, ¿cuánto tiempo tarda realmente el colapso? ¿Un tiempo finito o infinito? En el mundo de la teoría de la relatividad esta pregunta carece de sentido. El tiempo de vida de una estrella en el proceso de colapso, como todos los demás períodos de tiempo, es relativo y dependerá del marco de referencia del observador.

En la teoría general de la relatividad, los conceptos clásicos de espacio y tiempo como entidades absolutas e independientes quedan totalmente abolidos. No solo son relativas todas las mediciones que implican espacio y tiempo relativos, dependiendo del movimiento del observador, sino que toda la estructura espacio-temporal se encuentra inevitablemente ligada a la distribución de la materia. El espacio está curvado en grados diferentes y el tiempo fluye con ritmos diferentes en las distintas partes del universo. Así, hemos llegado a percibir que las nociones de un espacio euclidiano tridimensional y de un tiempo que fluye linealmente están limitadas a nuestra experiencia ordinaria del mundo físico y deben abandonarse totalmente cuando ampliamos esta experiencia.

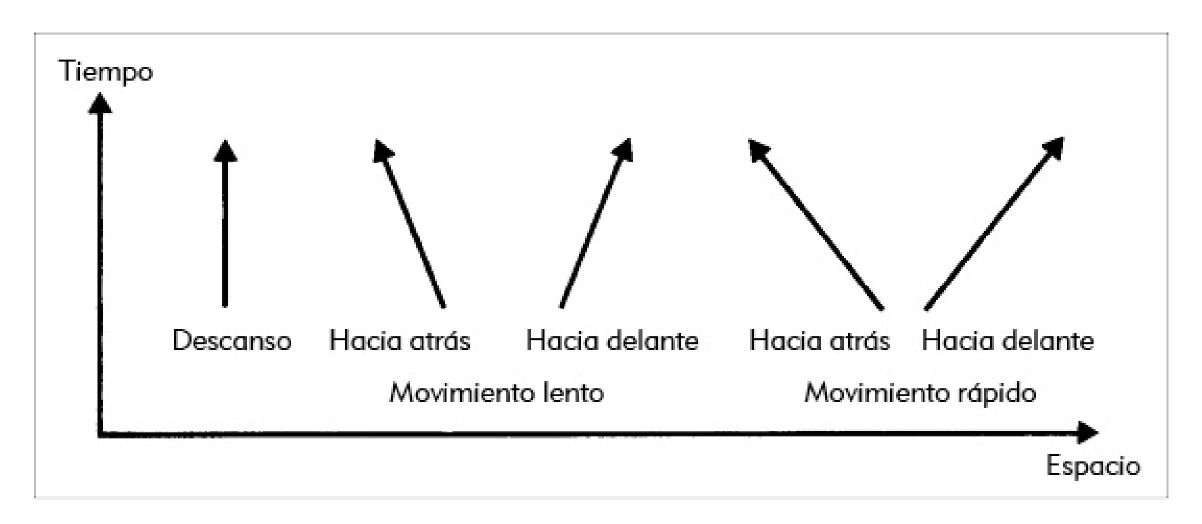
Los sabios orientales hablan también de una ampliación de su experiencia del mundo en estados de conciencia más elevados y afirman que estos estados contienen una experiencia del tiempo y del espacio radicalmente diferente. No solo aseguran que en la meditación van más allá del espacio tridimensional ordinario, sino también —e incluso con más fuerza— que trascienden la conciencia ordinaria del tiempo. En lugar de una sucesión lineal de instantes, experimentan —según dicen— un presente infinito, eterno y, sin embargo, dinámico. En las citas siguientes, tres místicos orientales hablan sobre la experiencia de este «eterno ahora»: el sabio taoísta Chuang Tzu; Hui-neng, el Sexto Patriarca zen, y D. T. Suzuki, el erudito budista contemporáneo.

> Olvidemos el paso del tiempo, olvidemos el conflicto de opiniones. Hagamos nuestra llamada a lo infinito, y tomemos allí nuestras posiciones[9].
>
> CHUANG TZU

> La tranquilidad absoluta es el momento presente. Aunque es en este momento, este momento no tiene límite, y en esto radica su eterna delicia[10].
>
> HUI-NENG

> En este mundo espiritual no existen divisiones de tiempo tales como pasado, presente y futuro; porque se han contraído a sí mismas en un simple momento del presente, donde la vida palpita en su verdadero sentido […]. En ese momento presente de iluminación están envueltos el pasado y el futuro y no es algo que permanezca inmóvil con todos sus contenidos, sino que se mueve incesantemente[11].
>
> D. T. SUZUKI

Hablar de la experiencia de un presente eterno resulta casi imposible, pues todas las palabras como *eterno, presente, pasado, momento,* etc., se refieren a los conceptos de tiempo convencionales. Por eso es extremadamente difícil comprender lo que los místicos quieren decir en párrafos como los anteriores; sin embargo, la física moderna puede facilitar esta comprensión, pues es posible utilizarla como un ejemplo gráfico, ya que sus teorías trascienden también las nociones ordinarias del tiempo.



Líneas del mundo de partículas

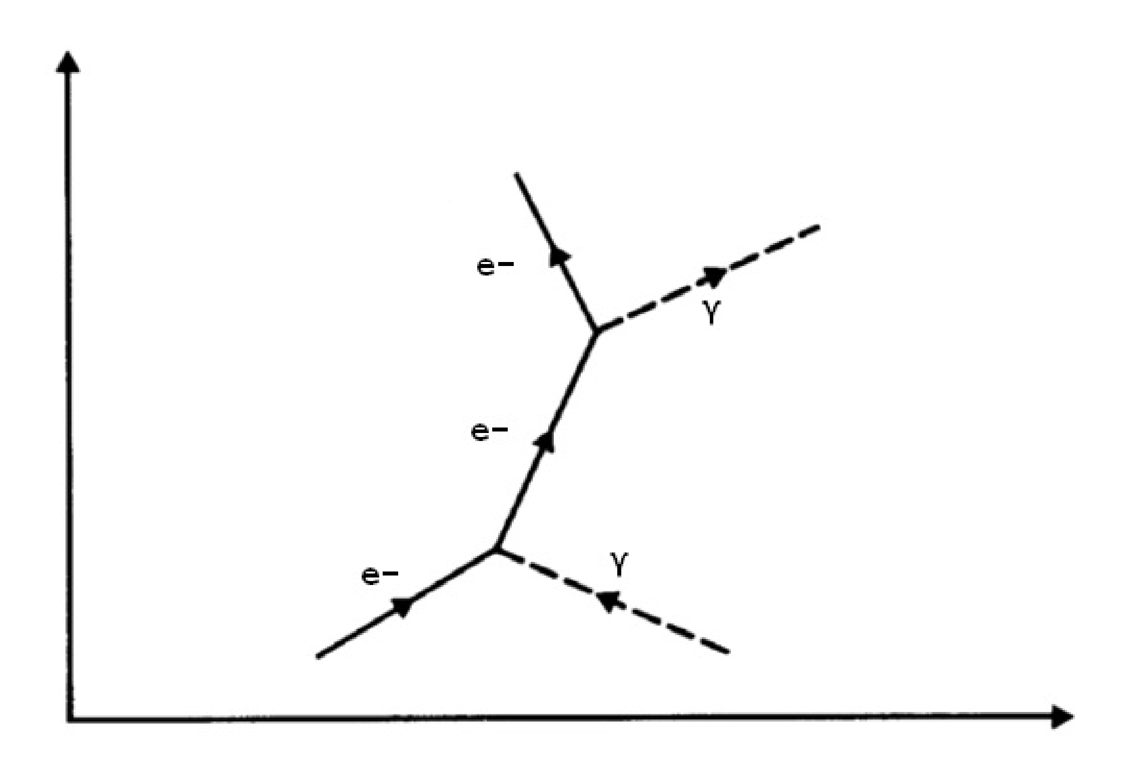
En la física relativista, la historia de un objeto, por ejemplo una partícula, puede representarse mediante un diagrama espacio-temporal (ver la figura). En estos diagramas, la dirección horizontal representa el espacio[*5] y la vertical, el tiempo. El camino de la partícula a través del espacio-tiempo se denomina su «línea del mundo». Si la partícula se encuentra en reposo, pese a ello se mueve en el tiempo, y su línea del mundo será en este caso una línea recta vertical. Si la partícula se mueve en el espacio, su línea del mundo estará inclinada; a mayor inclinación de la línea del mundo, más rápidamente se moverá la partícula. Las partículas solo pueden moverse hacia arriba en el tiempo, pero pueden hacerlo hacia delante o hacia atrás en el espacio. Sus líneas del mundo pueden estar inclinadas hacia la horizontal varios grados, pero nunca podrán ser totalmente horizontales, puesto que esto significaría que la partícula viaja de un lugar a otro sin ocupar para ello ningún tiempo en absoluto.

Los diagramas espacio-temporales se emplean en la física relativista para representar las interacciones que tienen lugar entre diversas partículas. Podemos dibujar un diagrama para cada proceso y asociarle una expresión matemática definida que nos dé la probabilidad de que dicho proceso suceda.

La colisión o el proceso de dispersión que se da entre un electrón y un fotón, por ejemplo, puede representarse mediante el diagrama que aparece más adelante.

Este diagrama se lee del modo siguiente (de abajo arriba, según la dirección del tiempo): un electrón (representado por e- a causa de su carga negativa) colisiona con un fotón (representado por g, esto es, gamma); el fotón es absorbido por el electrón, que continúa su camino con una velocidad ya distinta (diferente inclinación de la línea del mundo); después de un momento, el electrón emite de nuevo el fotón e invierte la dirección de su movimiento.

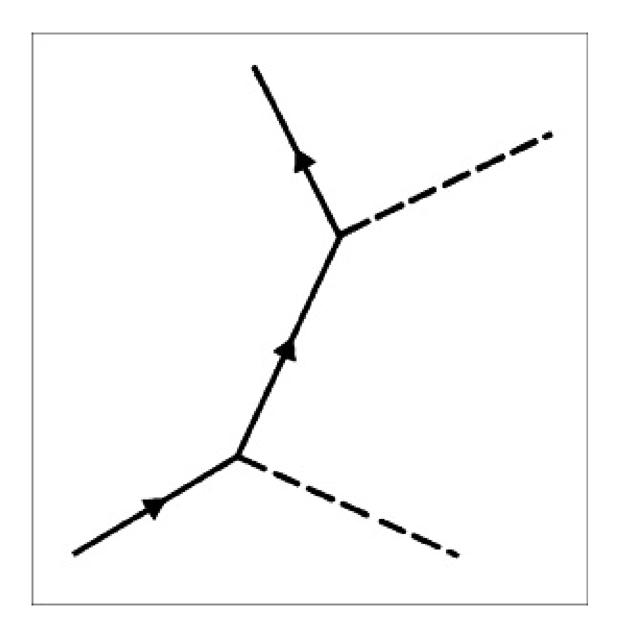
La teoría que constituye el marco adecuado para estos diagramas espacio-temporales, y para las expresiones matemáticas relacionadas con ellos, se denomina «teoría cuántica del campo» y constituye una de las principales teorías relativistas de la física moderna, cuyos conceptos básicos veremos más adelante. Para esta exposición de los diagramas espacio-temporales, será suficiente con conocer dos rasgos característicos de la teoría. El primero es el hecho de que todas las interacciones implican la creación y la destrucción de partículas, como la absorción y emisión del fotón del diagrama visto, y el segundo es una cierta simetría básica existente entre las partículas y las antipartículas. Para cada partícula existe una antipartícula de igual masa y de carga opuesta. La antipartícula del electrón, por ejemplo, se llama positrón y generalmente se indica con e^+. El fotón, al no tener carga, es su propia antipartícula. Pares de electrones y positrones pueden ser creados espontáneamente por fotones, y se los puede volver a convertir en fotones mediante el proceso inverso de aniquilación.



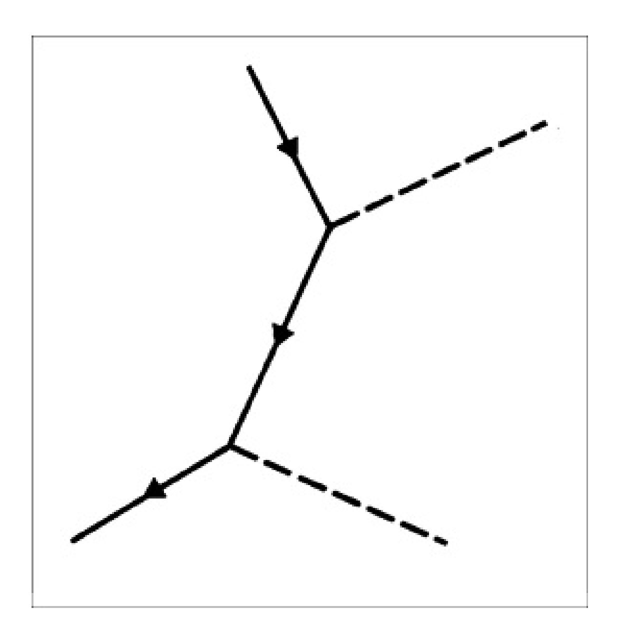
Dispersión de electrón-fotón.

Los diagramas espacio-temporales se simplifican enormemente si se adopta el siguiente truco: la punta de flecha de la línea del mundo ya no se emplea para indicar la dirección del movimiento de la partícula (lo cual es innecesario, puesto que las partículas se mueven hacia delante en el tiempo, es decir, hacia arriba en el diagrama). En lugar de ello, esta punta de flecha se emplea para distinguir entre partículas y antipartículas: si señala hacia arriba, indica una partícula (por ejemplo, un electrón); si lo hace hacia abajo, una antipartícula (por ejemplo, un positrón).

El fotón, al ser su propia antipartícula, se representa con una línea del mundo sin punta de flecha. Con esta modificación, podemos omitir las anotaciones del diagrama sin causar confusión alguna: las líneas con punta de flecha representan los electrones; las que no la tienen, los fotones. Podemos simplificar todavía más el diagrama omitiendo también el eje del espacio y el del tiempo, recordando que la dirección del tiempo es de abajo hacia arriba, y la del espacio, de izquierda a derecha. El diagrama espacio-temporal resultante para el mismo proceso de dispersión del electrón-fotón tendrá entonces este aspecto:

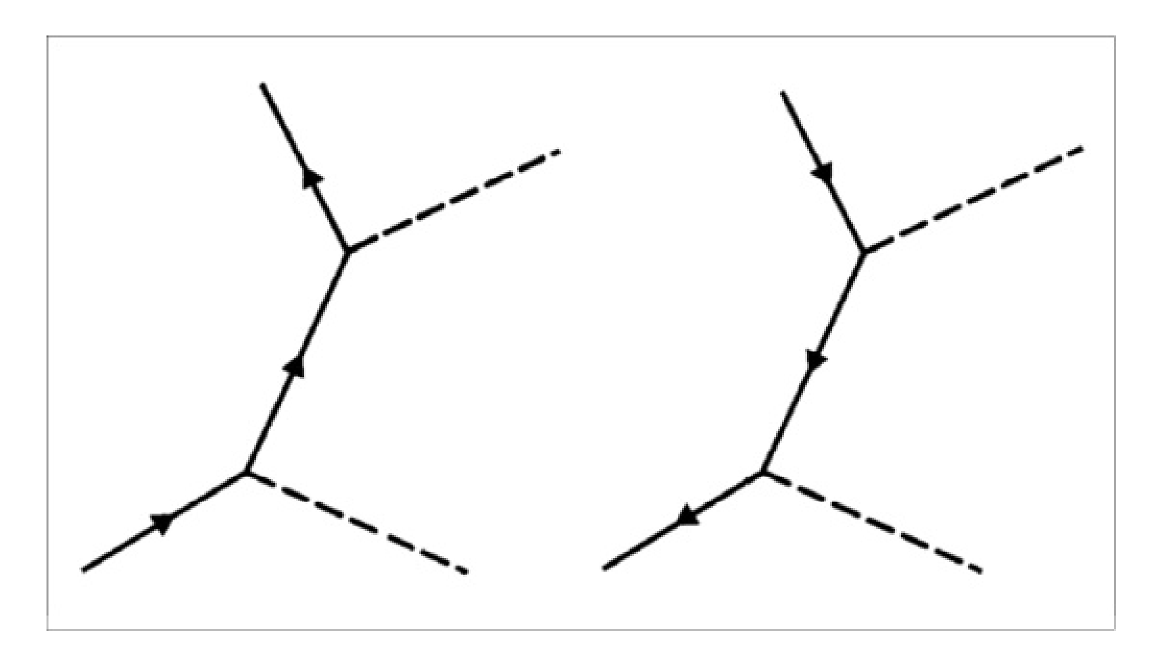

Dispersión de electrón-fotón

Si deseamos representar el proceso de dispersión entre un fotón y un positrón, no tenemos más que dibujar el mismo diagrama invirtiendo sencillamente la dirección de las puntas de flecha:


Dispersión de positrón-fotón

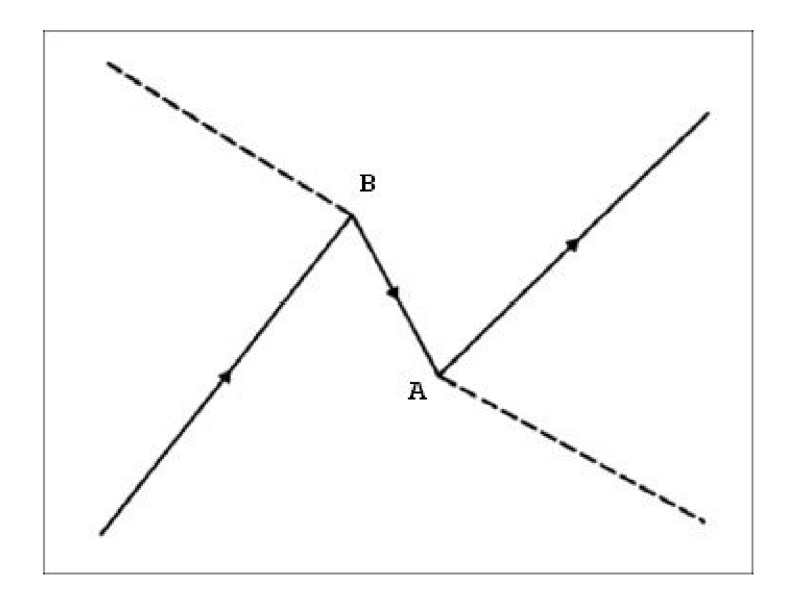
Hasta ahora, en esta exposición de los diagramas espacio-temporales no ha habido nada extraño. Los hemos leído desde abajo hacia arriba, según nuestro concepto convencional de un tiempo que fluye linealmente. Algo más raro aparece ya en los diagramas que contienen líneas de positrón, como la que representa la dispersión positrón-fotón. El conjunto de fórmulas matemáticas

de la teoría del campo sugiere que estas líneas pueden interpretarse de dos formas: como positrones que se mueven hacia delante en el tiempo o como electrones que retroceden en el tiempo. Ambas interpretaciones son matemáticamente idénticas; la misma expresión describe igual una antipartícula que se mueve del pasado hacia el futuro que una partícula que se mueve desde el futuro hacia el pasado. Puede considerarse que los dos diagramas representan el mismo proceso, evolucionando en dos direcciones diferentes de tiempo. Ambos pueden considerarse como dispersiones de electrones y fotones, pero en un proceso las partículas se mueven hacia delante en el tiempo, y en el otro hacia atrás[*6]. De este modo, la teoría relativista de las interacciones entre partículas muestra una completa simetría en relación con la dirección del tiempo. Todos los diagramas espacio-temporales pueden leerse en cualquiera de las dos direcciones. Cualquier proceso tendrá otro proceso equivalente, en el cual la dirección del tiempo estará invertida y las partículas serán sustituidas por antipartículas[*7].



Para ver cómo esta sorprendente cualidad del mundo de las partículas subatómicas afecta a nuestros conceptos de espacio y tiempo, vamos a considerar el siguiente diagrama. Leyéndolo en la manera convencional, de abajo hacia arriba, lo interpretaremos de la siguiente manera: un electrón (representado por una línea continua) y un fotón (representado por una línea punteada) se acercan uno al otro; el fotón crea un par electrón-positrón en el punto A, saliendo violentamente el electrón hacia la derecha y el positrón hacia la izquierda; el positrón colisiona entonces con el electrón inicial en el punto B, aniquilándose mutuamente y creando un fotón, que sale despedido

violentamente hacia la izquierda. Al mismo tiempo, este proceso se puede interpretar como la interacción de dos fotones con un solo electrón, que primero viaja hacia delante en el tiempo y luego hacia atrás, para terminar yendo de nuevo hacia delante. Para esta interpretación no tenemos más que seguir sencillamente las flechas existentes sobre la línea del electrón durante todo su recorrido: el electrón viaja hasta el punto B, donde emite un fotón e invierte su dirección para volver hacia atrás en el tiempo hasta el punto A; allí absorbe el fotón inicial, vuelve a invertir su dirección y sale violentamente viajando hacia delante en el tiempo. En cierto sentido, la segunda interpretación es mucho más sencilla, pues solo seguimos la línea del mundo de una partícula. Sin embargo, vemos inmediatamente que nos estamos enzarzando en diversas dificultades de lenguaje. El electrón viaja «primero» al punto B y «después» al punto A; sin embargo, la absorción del fotón que tiene lugar en A sucede antes que la emisión del otro fotón que tiene lugar en el punto B.



Proceso de dispersión en el que intervienen fotones, electrones y un positrón.

La mejor forma de evitar esas dificultades es considerar los diagramas espacio-temporales no como registros cronológicos de los caminos seguidos por las partículas en un tiempo lineal, sino más bien como modelos cuatridimensionales espacio-temporales, que representan una red de sucesos relacionados entre sí, sin una dirección de tiempo definida. Dado que todas las partículas pueden moverse hacia delante o hacia atrás en el tiempo, del mismo modo que en el espacio se pueden mover hacia la derecha o hacia la izquierda, no tiene sentido imponer en los diagramas un flujo temporal en un solo sentido. Se trata de mapas cuatridimensionales trazados en la dimensión

espacio-temporal, de modo que no procede hablar de una secuencia temporal lineal. En palabras de Louis de Broglie:

> En la dimensión espacio-temporal, todo lo que para cada uno de nosotros constituye el pasado, el presente y el futuro se da en bloque […]. Cada observador, a medida que su tiempo va pasando, descubre, por así decirlo, nuevas porciones de espacio-tiempo que aparecen ante él como aspectos sucesivos del mundo material, aunque en realidad el conjunto de sucesos que constituyen el espacio-tiempo existe con prioridad a su conocimiento de ellos[12].

Este es, pues, el sentido del espacio-tiempo en la física relativista. Espacio y tiempo son totalmente equivalentes, están unificados en un continuo cuatridimensional en el que las interacciones de las partículas pueden proyectarse en cualquier dirección. Si queremos representar estas interacciones, tendremos por fuerza que hacerlo en una «instantánea cuatridimensional», que cubra todo el ámbito del tiempo y también toda la región del espacio. Para captar el mundo relativista de las partículas, debemos olvidar «el lapso de tiempo», como dice Chuang Tzu, y este es el motivo por el que los diagramas espacio-temporales de la teoría del campo pueden resultar una valiosa analogía de la experiencia espacio-temporal vivida por el místico oriental. La evidencia de esta analogía es mostrada por las siguientes observaciones del lama Anagarika Govinda en relación con la meditación budista:

> Si hablamos de la experiencia del espacio durante la meditación, estaremos tratando con una dimensión totalmente diferente […]. En esa experiencia espacial la secuencia temporal se convierte en una coexistencia simultánea, en la existencia de todas las cosas, unas junto a otras […] y no es algo estático, sino que se convierte en una continuidad viva, en la que se integran el tiempo y el espacio[13].

Aunque los físicos emplean sus fórmulas matemáticas y sus diagramas para representar interacciones «en bloque» en el espacio-tiempo cuatridimensional, aseguran que en el mundo real cada observador puede solo experimentar los fenómenos en una sucesión de secciones espacio-temporales, es decir, en una secuencia temporal lineal. Los místicos, por su

lado, sostienen que pueden experimentar toda la gama espacio-temporal, sin que haya fluir del tiempo. Así, dice el maestro zen Dogen:

> La mayoría cree que el tiempo pasa; sin embargo, el hecho real es que permanece donde está. Esa idea de pasar puede llamarse tiempo, pero es una idea incorrecta, puesto que al verla solo pasando, no pueden comprender que permanece en el mismo lugar[14].

Muchos de los maestros orientales resaltan que el pensamiento debe tener lugar en el tiempo, pero que la visión lo trasciende. Según Govinda, «la Visión tiene que ver con el espacio de una dimensión superior, y por ello fuera del tiempo[15]». El espacio-tiempo de la física relativista es un espacio atemporal similar, de una dimensión más elevada. Todos los sucesos se hallan en él interrelacionados, pero sus conexiones no son causales. Las interacciones de las partículas pueden interpretarse en términos de causa y efecto solamente cuando los diagramas espacio-temporales se leen en una determinada dirección, es decir, de abajo arriba. Si los tomamos como esquemas cuatridimensionales sin una dirección de tiempo definida, no hay «antes» ni «después» y, por ello, no hay causalidad.

Del mismo modo, los místicos orientales afirman que, al trascender el tiempo, también trascienden el mundo de las causas y los efectos. Al igual que nuestros conceptos corrientes de espacio y tiempo, la causalidad es una idea limitada a una cierta experiencia del mundo y debe abandonarse cuando esa experiencia se amplía. En palabras de Swami Vivekananda:

> El tiempo, el espacio y la causalidad son como un cristal a través del cual se ve lo Absoluto […].
>
> En lo Absoluto no hay tiempo, ni espacio, ni causalidad[16].

Las tradiciones espirituales de Oriente muestran a sus seguidores varias formas de trascender la experiencia ordinaria del tiempo y de liberarse a sí mismos de la cadena de causas y efectos —de la esclavitud del karma, como lo expresan los hindúes y budistas—. Así, se ha dicho que el misticismo oriental es una liberación del tiempo. En cierto modo, lo mismo puede decirse de la física relativista.



Diagrama del cambio, tal como figura en un canon taoísta de la dinastía Sung.

13

EL UNIVERSO DINÁMICO

La meta central del misticismo oriental es experimentar todos los fenómenos del mundo como manifestaciones de una misma realidad última. A esta realidad se la considera como la esencia del universo, que sostiene y unifica la multitud de objetos y fenómenos observados por nosotros. Los hindúes lo llaman *Brahman*; los budistas, *Dharmakaya* (el cuerpo del Ser) o *Tathata* (eseidad), y los taoístas, *Tao*. Todos ellos afirman que trasciende nuestros conceptos intelectuales y que no puede describirse. Esta esencia última, sin embargo, no puede ser separada de sus múltiples manifestaciones. Está en su naturaleza manifestarse en miríadas de formas que nacen y se desintegran, transformándose unas en otras incesantemente. En su aspecto fenomenológico, el Uno cósmico es intrínsecamente dinámico, y la comprensión de su naturaleza dinámica es básica en todas las escuelas de misticismo oriental. Así, D. T. Suzuki informa sobre la escuela Kegon del budismo Mahayana:

> La idea central de Kegon es aprehender al universo como algo dinámico, cuya característica es moverse siempre hacia delante, estar siempre en movimiento, ese movimiento que es la vida[1].

Este énfasis en el movimiento, en el flujo y en el cambio no es solo característico de las tradiciones místicas orientales, sino que ha constituido un aspecto esencial de la visión del mundo por parte de los místicos durante muchos siglos. En la antigua Grecia, Heráclito enseñaba que «todo fluye» y comparaba el mundo con un fuego perpetuo, y en México, el místico yaqui don Juan habla sobre el «mundo efímero» y afirma que «para ser un hombre de conocimiento es necesario ser ligero y fluir[2]».

En la filosofía india, los principales términos usados por los hindúes y los budistas tienen todos ellos connotaciones dinámicas. La palabra *Brahman*

deriva de la raíz sánscrita *brih*, «crecer», y por tanto inspira una realidad dinámica y viva. Según S. Radhakrishnan, «la palabra *Brahman* significa crecimiento y nos hace pensar en la vida, en el movimiento y el progreso[3]». Los *Upanishads* se refieren a *Brahman* como «sin forma, inmortal, móvil[4]», relacionándolo con el movimiento, aunque trascienda toda forma.

El *Rig Veda* utiliza otra palabra para expresar la naturaleza dinámica del universo, el término *rita*, que procede de la raíz *ri*, «mover», y su significado original en el *Rig Veda* es «el curso de todas las cosas», «el orden de la naturaleza». Representa un importante papel en las leyendas que incluye y está relacionada con los dioses védicos. El orden de la naturaleza era concebido por los videntes védicos no como una ley divina estática, sino como un principio dinámico inherente al universo. Esta idea no difiere de la concepción china del *Tao* —«el Camino»— como el modo en que el universo funciona, es decir, el orden de la naturaleza. Al igual que los videntes védicos, los sabios chinos percibieron el mundo en forma de flujo y de cambio, y así, transmitieron la idea de un orden cósmico con una connotación esencialmente dinámica. Ambos conceptos, *rita* y *Tao*, fueron posteriormente degradados desde su nivel cósmico original al nivel humano y pasaron a interpretarse en un sentido moral: *rita* como la ley universal que tanto los dioses como los hombres deben obedecer y *Tao* como el camino correcto de la vida.

El concepto védico de *rita* sugiere ya la idea del *karma*, que fue desarrollada posteriormente para expresar la interacción dinámica de todos los objetos y sucesos. La palabra *karma* significa «acción» e indica la interrelación «activa» o dinámica de todos los fenómenos. En palabras del *Bhagavad Gita*, «todas las acciones tienen lugar en el tiempo, gracias a un entretejido de las fuerzas de la naturaleza[5]». Buda tomó el concepto tradicional de *karma* y le confirió un nuevo significado, extendiendo las interconexiones dinámicas que tienen lugar en el universo a la esfera de las situaciones humanas. Así, el karma vino a significar la cadena sin fin de causas y efectos que tienen lugar en la vida humana y que Buda rompió al alcanzar el estado de iluminación.

El hinduismo también halló muchas maneras de expresar la naturaleza dinámica del universo en su lenguaje mítico. Así dice Krishna en el *Gita*: «Si yo no tomara parte en la acción, estos mundos perecerían[6]», y Shiva, el Danzante Cósmico, tal vez sea la personificación más perfecta del universo dinámico. Con su danza, Shiva sostiene los múltiples fenómenos del mundo, unificando todas las cosas, sumergiéndolas en su ritmo y haciéndolas

participar de la danza —imagen magnífica de la dinámica unidad del universo.

La visión general que surge del hinduismo es la de un cosmos orgánico, creciente y con un movimiento rítmico, la de un universo dentro del cual todo es fluido y siempre cambiante, en el que todas las formas estáticas son *maya*, es decir, existen tan solo como conceptos ilusorios. Esta última idea —la impermanencia de todas las formas— fue el punto de partida del budismo. Buda enseñó que *todas las cosas compuestas son impermanentes* y que todo el sufrimiento de este mundo es originado por nuestro afán de apegarnos a las formas fijas —objetos, personas o ideas— en lugar de aceptar el mundo tal como cambia y evoluciona. La visión dinámica del mundo está, pues, en la misma raíz del budismo. En palabras de S. Radhakrishnan:

> Una maravillosa filosofía del dinamismo fue formulada por Buda hace dos mil quinientos años […]. Impresionado por la transitoriedad de los objetos, por la incesante mutación y transformación de las cosas, Buda formuló una filosofía de cambio. Redujo sustancias, almas, mónadas y cosas a fuerzas, movimientos, secuencias y procesos y adoptó una concepción dinámica de la realidad[7].

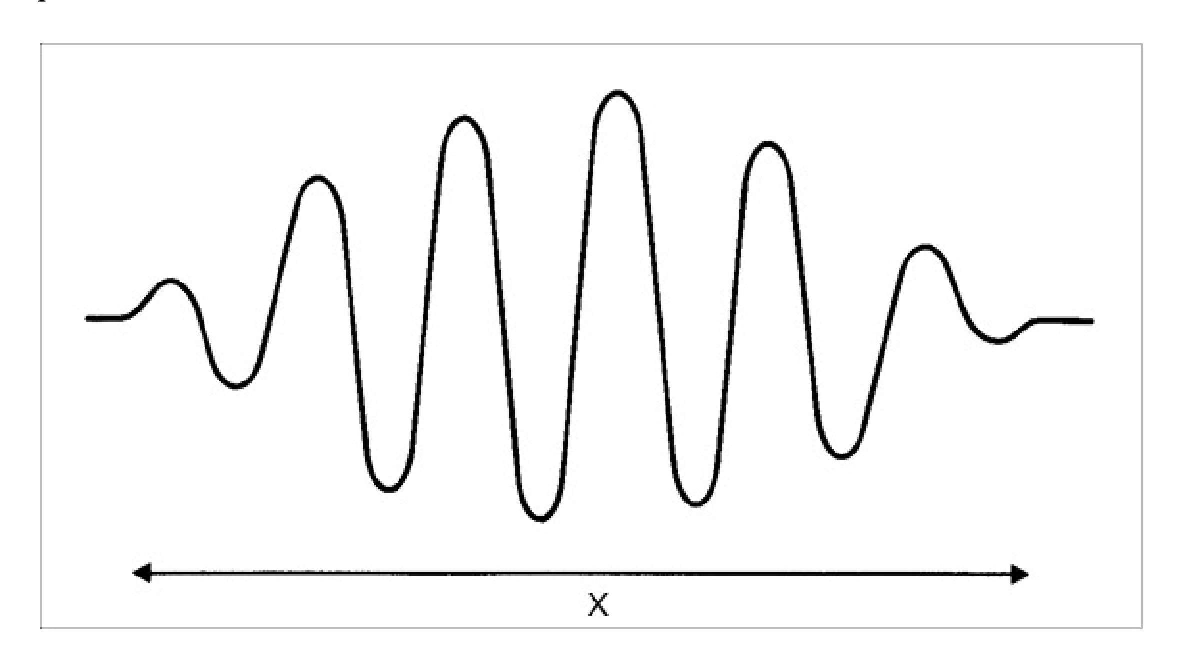
A este mundo de cambios incesantes los budistas lo llaman *samsara*, que literalmente significa «en movimiento incesante», y afirman que no existe nada en él a lo que merezca la pena apegarse. Así, para los budistas, un ser iluminado es el que no se resiste al flujo de la vida, sino que continúa moviéndose con él. Cuando le preguntaron al monje Ch’an Yün-men: «¿Qué es el Tao?», este respondió sencillamente: «¡Sigue caminando!». En consonancia con esto, los budistas también llaman a Buda el *Tathagata* o «el que viene y va». En la filosofía china, la realidad siempre cambiante que fluye sin cesar se denomina *Tao* y se la considera como un proceso cósmico en el que todas las cosas se ven envueltas. Al igual que los budistas, los taoístas aseguran que no debemos resistirnos a ese flujo, sino que tenemos que adaptar nuestros actos a él. Esta es una característica de los sabios, de los seres iluminados. Si Buda es «el que viene y va», el sabio taoísta es, como dice Huai Nan Tzu, «el que fluye en la corriente del Tao».

Cuanto más se estudian los textos religiosos y filosóficos de los hindúes, budistas o taoístas, más se ve que en todos ellos el mundo es concebido en términos de movimiento, de flujo y de cambio.

Esta cualidad dinámica de la filosofía oriental parece ser uno de sus rasgos más importantes. Los místicos orientales conciben el universo como una telaraña inseparable, cuyas interconexiones son dinámicas y no estáticas. Esta telaraña cósmica está viva, se mueve, crece y cambia continuamente.

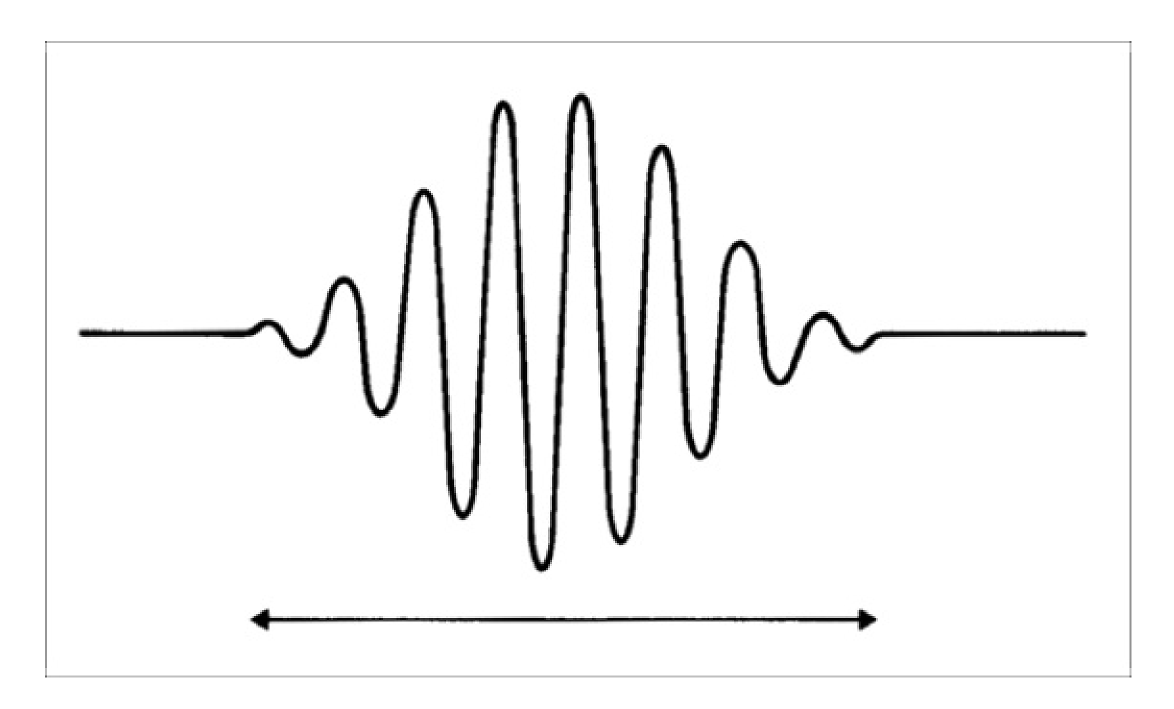
La física moderna, del mismo modo, ha llegado a considerar el universo como una telaraña de relaciones y, al igual que el misticismo oriental, reconoce que esta telaraña es intrínsecamente dinámica. La característica dinámica de la materia surge en la teoría cuántica como una consecuencia de la naturaleza dual onda-partícula de las partículas subatómicas y se hace todavía más evidente en la teoría de la relatividad, donde la unificación del espacio y el tiempo trae consigo que el ser de la materia no pueda separarse de su actividad. Las propiedades de las partículas subatómicas pueden por ello comprenderse solo en un contexto dinámico, en términos de movimiento, interacción y transformación.

Según la teoría cuántica, las partículas son también ondas, y ello hace que se comporten de un modo muy especial. Siempre que una partícula subatómica esté confinada a una pequeña región de espacio, reaccionará a su confinamiento moviéndose en una órbita. Cuanto más pequeña sea la zona en la que se encuentra confinada, más deprisa «revoloteará» la partícula. Este comportamiento es un típico «efecto cuántico», un rasgo del mundo subatómico que no tiene analogía macroscópica. Para entenderlo, hemos de recordar que las partículas están representadas, en la teoría cuántica, por paquetes de ondas.



Un paquete de ondas

Como ya vimos anteriormente, la longitud de tal paquete de ondas representará la indeterminación o imprecisión con que nos encontraremos a la hora de localizar la partícula. El modelo anterior de onda, por ejemplo, corresponde a una partícula situada en algún lugar de la zona X, lugar que no podemos indicar con seguridad dónde está exactamente. Si deseamos localizar la partícula con mayor precisión, es decir, si queremos confinarla a una región más pequeña, tenemos que comprimir su paquete de ondas dentro de esta zona (ver el siguiente diagrama). Esto, sin embargo, afectará a la longitud de onda del paquete de ondas, y como consecuencia de ello a la velocidad de la partícula. Como resultado, la partícula circulará en su órbita; cuanto más confinada esté, mayor será su velocidad.



Comprimiendo el paquete de ondas dentro de una zona más pequeña.

Esta tendencia de las partículas a reaccionar al confinamiento con un movimiento mayor implica una «agitación» fundamental de la materia que es característica del mundo subatómico. En este mundo, la mayor parte de las partículas materiales están ligadas a las estructuras moleculares, atómicas y nucleares, y por tanto nunca permanecen en reposo, sino que presentan una tendencia innata a moverse —son intrínsecamente inquietas—. Según la teoría cuántica, la materia nunca está en reposo, sino que siempre se halla en un estado de movimiento. Macroscópicamente, los objetos materiales que nos rodean pueden parecer pasivos e inertes, pero cuando aumentamos un trozo «muerto» de piedra o metal, vemos que está lleno de actividad. Cuanto más de cerca lo observemos, más vivo aparecerá. Todos los objetos materiales de

nuestro entorno están formados por átomos, unidos unos con otros de varias formas a fin de constituir una enorme variedad de estructuras moleculares que no son rígidas e inmóviles, sino que oscilan de acuerdo con su temperatura y en armonía con las vibraciones termales de su medio ambiente. En los átomos —también siempre vibrantes— los electrones están ligados a los núcleos atómicos por fuerzas eléctricas que tratan de mantenerlos tan cerca como les sea posible, y estos responden a estas fuerzas girando a su alrededor con extrema rapidez. Finalmente, en los núcleos, los protones y los neutrones están oprimidos dentro de un volumen muy pequeño, por las potentes fuerzas nucleares, y por ello se precipitan también en una circulación que alcanza velocidades inimaginables.

De este modo, la física moderna en absoluto presenta la materia como pasiva e inerte, sino en un continuo movimiento, en una danza y una vibración cuyos patrones rítmicos están determinados por las estructuras moleculares, atómicas y nucleares. Esta es también la forma en que los místicos orientales conciben el mundo material. Todos ellos insisten en que el universo debe ser comprendido dinámicamente, con su movimiento, su vibración y su danza, y que la naturaleza no se halla en un equilibrio estático, sino dinámico. Según un texto taoísta:

> La quietud en la quietud no es la verdadera quietud. Solo cuando haya quietud en el movimiento podrá hacerse presente el ritmo espiritual, que inunda el Cielo y la Tierra**[8]**.

En física, reconocemos la naturaleza dinámica del universo no solamente en las dimensiones más pequeñas —el mundo de los átomos y los núcleos—, sino también en las más amplias: el mundo de las estrellas y las galaxias. Con potentes telescopios, observamos un universo en movimiento incesante. Nubes giratorias de hidrógeno se contraen en forma de estrellas, calentándose en ese proceso hasta convertirse en fuegos ardientes en el cielo. Una vez alcanzada esa etapa, continúan girando; algunas de ellas arrojan al espacio materia, que da vueltas en espiral y se condensa formando planetas, que describen círculos alrededor de la estrella. Por último, después de millones de años, cuando ya se ha agotado la mayor parte de su combustible de hidrógeno, la estrella se expande, para después contraerse de nuevo en un colapso gravitacional final. Este colapso puede generar gigantescas explosiones e incluso convertir a la estrella en un agujero negro. Todas estas actividades — la formación de estrellas partiendo de nubes de gas estelar, su contracción y

subsecuente expansión y su colapso final— pueden realmente observarse en alguna parte de los cielos.

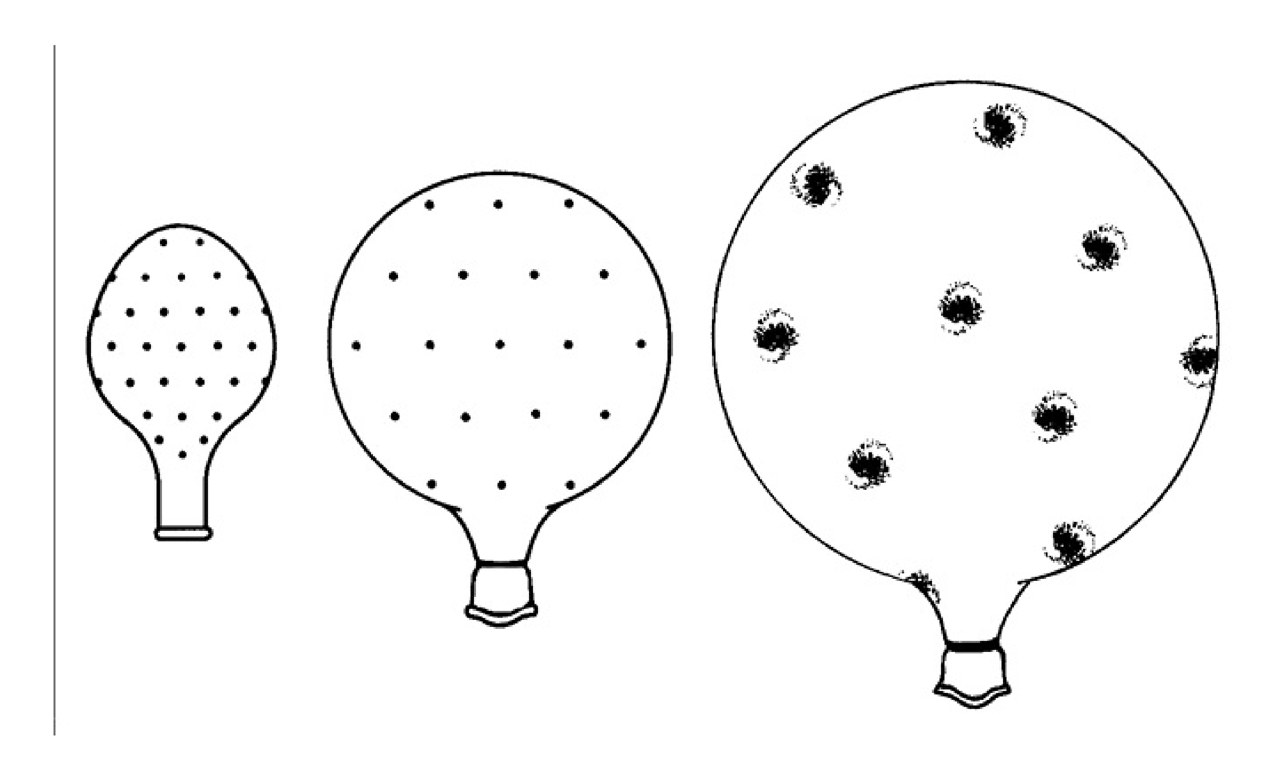
Esas estrellas que giran, se contraen, se expanden o estallan se agrupan en galaxias de formas diversas —discos planos, esferas, espirales, etc.—, las cuales, a su vez, no están inmóviles, sino que también giran. Nuestra galaxia, la Vía Láctea, es un inmenso disco de estrellas y gas, que gira en el espacio como una rueda enorme; así, todas sus estrellas, incluido el Sol y sus planetas, giran alrededor del centro de la galaxia. El universo está lleno de galaxias, esparcidas por todo el espacio, todas girando como la nuestra.



Al estudiar el universo como un todo, con sus millones de galaxias, hemos alcanzado la mayor escala de espacio y tiempo; y de nuevo, a ese nivel cósmico, descubrimos que no es estático, sino que ¡se está expandiendo! Este ha sido uno de los descubrimientos más importantes de la astronomía moderna. El análisis detallado de la luz recibida de distantes galaxias ha demostrado que toda la multitud de galaxias se expande y que lo hace de un modo bien orquestado. La velocidad de retroceso de cualquier galaxia que podamos observar es proporcional a la distancia que nos separa de ella. A mayor distancia, más rápido se aleja de nosotros; al doble de distancia, la velocidad de retroceso también será el doble. Esto es cierto no solo para las distancias medidas desde nuestra galaxia, sino que se aplica a cualquier punto de referencia. Cualquiera que sea la galaxia en la que te encuentres, observarás a las demás galaxias alejándose de ti: las cercanas, a varios miles de kilómetros por segundo; las más alejadas, a velocidades superiores, y las más lejanas de todas, a velocidades que se aproximan a la velocidad de la luz.

La luz procedente de las galaxias que están ya más allá de esa distancia jamás llegará hasta nosotros, pues se alejan a una velocidad mayor que la de la luz. Su luz es —según las palabras de *sir* Arthur Eddington— «como un corredor en una pista de carreras en la que la cinta de llegada se retira continuamente a mayor velocidad de la que él puede alcanzar».

Para hacernos una idea de la forma en que se expande el universo, hemos de recordar que el marco adecuado para estudiar sus rasgos a gran escala es la teoría general de la relatividad de Einstein. Según esta teoría, el espacio no es «plano», sino «curvo», y el modo en que se curva está relacionado con la distribución de la materia según las ecuaciones del campo de Einstein. Estas ecuaciones pueden utilizarse para determinar la estructura del universo como un todo y constituyen el punto de partida de la cosmología moderna.



Cuando en el marco de la relatividad hablamos de un universo en expansión, nos referimos a una expansión dentro de una dimensión superior. Como ocurre con el concepto del espacio curvo, solo es posible visualizar esta expansión con ayuda de una analogía bidimensional. Imagina un globo con un gran número de puntos en su superficie. El globo representa el universo; su superficie curva bidimensional, el espacio curvado tridimensional, y los puntos de la superficie del globo, las galaxias existentes en el espacio tridimensional. Cuando inflamos el globo, las distancias entre los puntos aumentan. Cualquiera que sea el punto que elijas para posarte, todos los demás puntos se alejarán de ti. El universo se expande de este mismo modo: cualquiera que sea la galaxia donde el observador se halle, todas las demás galaxias se alejarán de él.

Una pregunta que suele hacerse en relación con esta expansión del universo es: ¿cómo empezó todo? Partiendo de la relación existente entre la distancia de una galaxia y su velocidad de retroceso —es la llamada ley de Hubble—, se puede calcular el punto de partida de la expansión, en otras palabras, la edad del universo.

Suponiendo que el ritmo de la expansión no haya variado, lo cual no puede considerarse de ningún modo seguro, se llega a una edad del orden de los diez mil millones de años. Esta sería, pues, la edad del universo. En nuestros días la mayoría de los cosmólogos creen que el universo fue un acontecimiento altamente espectacular hace aproximadamente diez mil millones de años, cuando su masa total hizo explosión partiendo de una

primitiva bola de fuego. La presente expansión del universo se considera que es un impulso residual de aquella explosión inicial. Según este modelo de «la gran explosión», el momento del estallido señaló el principio del universo y el comienzo del espacio y el tiempo. Si deseamos saber lo que sucedió antes de ese momento, nos adentramos —una vez más— en un terreno donde las dificultades de pensamiento y lenguaje son serias. En palabras de *sir* Bernard Lovell:

> Llegamos a la gran barrera del pensamiento, pues comenzamos a luchar con los conceptos de tiempo y espacio anteriores a nuestra experiencia cotidiana. Me siento como si de pronto me hubiera adentrado en un gran banco de niebla, donde el mundo conocido ha desaparecido**[9]**.

Sobre el futuro del universo en expansión, las ecuaciones de Einstein no nos dan una respuesta única. Generan varias soluciones diferentes, que corresponden a distintos modelos de universo. Algunos modelos predicen que la expansión continuará para siempre. Otros, que irá disminuyendo su velocidad y finalmente se iniciará una contracción. Estos modelos describen un universo oscilante, que se expande durante billones de años y se contrae después hasta que su masa total llega a condensarse en una pequeña bola de materia, para iniciar luego otra expansión más y así sucesivamente, sin final.

Esta idea de un universo que experimenta expansiones y contracciones periódicas, en una escala de tiempo y espacio de vastas proporciones, no solo ha surgido en la cosmología moderna, sino que también la hallamos en la antigua mitología india. Experimentando el universo como un cosmos orgánico que se mueve rítmicamente, los hindúes fueron capaces de desarrollar cosmologías evolutivas que se aproximan mucho a nuestros modelos científicos modernos. Una de estas cosmologías está basada en el mito hindú de *lila* —el juego divino o la divina obra teatral— donde *Brahman* se transforma a sí mismo en el mundo. *Lila* es un juego rítmico que continúa en ciclos interminables: el Uno se convierte en los muchos y los muchos vuelven finalmente a ser Uno. En el *Bhagavad Gita*, el dios Krishna describe este rítmico juego de la creación con las siguientes palabras:

> Al final de la noche de los tiempos, todas las cosas vuelven a mi naturaleza; y cuando el nuevo día de los tiempos comienza, las saco de nuevo a la luz.

> Así, a través de mi naturaleza, hago nacer a toda la creación, la cual gira en los ciclos del tiempo.
> Sin embargo, yo no estoy ligado a este vasto trabajo de la creación.
> Yo soy, y observo el drama de su funcionamiento.
> Yo vigilo y, en su función creadora, la naturaleza hace nacer todo aquello que se mueve y todo lo que no se mueve, y así el mundo sigue girando[10].

Los sabios hindúes no temieron identificar esta obra divina y rítmica con la evolución del cosmos como un todo. Imaginaron el universo expandiéndose y contrayéndose periódicamente y al inimaginable período de tiempo existente entre el principio y el fin de una creación le dieron el nombre de *kalpa*. El alcance de este antiguo mito es sorprendente: la mente humana necesitó más de dos mil años para generar de nuevo un concepto similar.

Del mundo de lo inmensamente grande, del cosmos en expansión, volvamos ahora al mundo de lo infinitamente pequeño. La física del siglo XX se caracterizó por una progresiva incursión en ese mundo de dimensiones submicroscópicas, en el reino de los átomos, los núcleos y sus componentes. Esta exploración del mundo submicroscópico fue motivada por una cuestión básica, que ha ocupado y estimulado el pensamiento humano a través de los siglos: ¿de qué está hecha la materia? Desde los comienzos de la filosofía natural, el hombre ha estado especulando sobre esta cuestión, tratando de encontrar el «elemento básico» del que toda materia está formada, pero solo en el siglo pasado fue posible buscar una respuesta a través de la experimentación. Con la ayuda de una tecnología altamente sofisticada, los físicos pudieron explorar primero la estructura de los átomos y descubrieron que estos se componían de núcleos y de electrones. Después la estructura de los núcleos atómicos, que estaba compuesta de protones y neutrones, también llamados nucleones. Finalmente, se dio un paso más y se comenzó a investigar la estructura de los nucleones —o componentes de los núcleos atómicos— que, una vez más, no parecen ser las partículas elementales definitivas, sino que siguen estando compuestas de otros entes.

El primer paso en este adentrarnos en capas cada vez más profundas de la materia fue la exploración del mundo de los átomos y originó ya varias modificaciones de nuestro concepto de materia, como vimos en capítulos anteriores. El segundo paso fue la incursión en el mundo de los núcleos atómicos y sus componentes, que nos obligó a modificar de nuevo nuestros conceptos de una manera todavía más radical. En este mundo, tratamos con

dimensiones que son cien mil veces más pequeñas que las dimensiones atómicas, y como consecuencia de ello, las partículas, confinadas en dimensiones tan mínimas, se mueven considerablemente más rápido que las confinadas en las estructuras atómicas. De hecho, se mueven con tal rapidez que solo pueden describirse adecuadamente en el marco de la teoría especial de la relatividad. Para comprender las propiedades e interacciones de las partículas subatómicas es necesario, así, emplear un modelo que tenga en cuenta tanto la teoría cuántica como la teoría de la relatividad —esta última nos obliga, una vez más, a modificar nuestro concepto de la materia.

La característica más destacada del marco relativista es, como ya mencioné antes, que unifica conceptos básicos que antes parecían totalmente independientes. Uno de los ejemplos más importantes es la equivalencia entre masa y energía, expresada matemáticamente en la famosa ecuación de Einstein, $E = mc^2$. Para comprender el profundo significado de esta equivalencia, hemos de entender primero los conceptos de energía y de masa.

La energía es uno de los conceptos más importantes que utilizamos para describir los fenómenos naturales. Al igual que en la vida diaria, decimos que un cuerpo tiene energía cuando posee la capacidad de realizar un trabajo. Esta energía puede adoptar una gran variedad de formas. Puede ser energía de movimiento, de calor, gravitacional, eléctrica, química… y así sucesivamente. Cualquiera que sea su forma, podrá emplearse para realizar un trabajo. A una piedra, por ejemplo, se le puede dar energía gravitacional levantándola a cierta altura. Cuando desde dicha altura la dejamos caer, su energía gravitacional se transforma en energía de movimiento (energía cinética), y cuando golpea el suelo puede realizar un trabajo rompiendo algo. Tomando un ejemplo más constructivo, la energía eléctrica o química puede transformarse en energía calorífica, que posteriormente es utilizada para fines domésticos.

En física, la energía está siempre relacionada con algún proceso o algún tipo de actividad, y su importancia fundamental consiste en el hecho de que la energía total contenida en un proceso siempre se conserva. Puede que cambie su forma del modo más complicado, pero ninguna parte de ella se pierde. La conservación de la energía es una de las leyes fundamentales de la física, rige todos los fenómenos naturales conocidos y hasta ahora no se ha observado ninguna violación de esta ley.

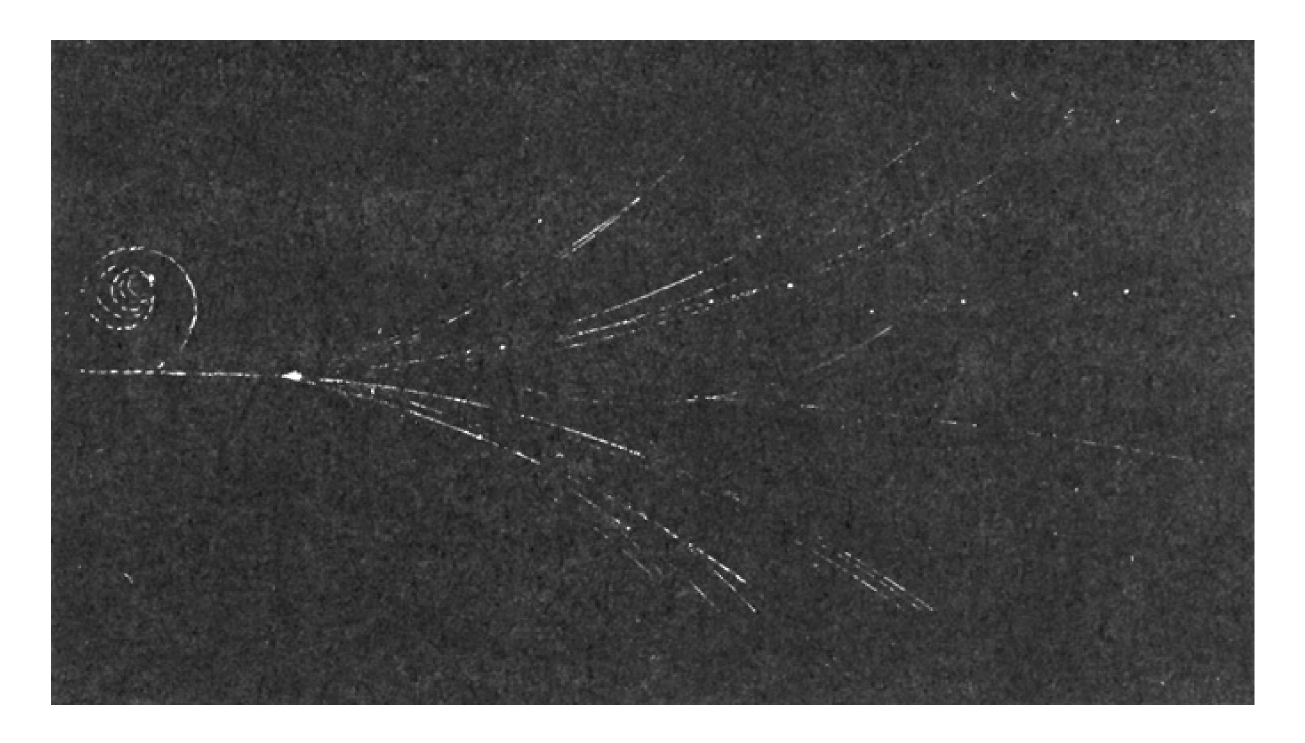
La masa de un cuerpo es una medición de su peso, es decir, de la atracción que la gravedad ejerce sobre él. La masa es también la medida de la inercia de un objeto, es decir, de su resistencia a la aceleración. Los objetos pesados son

más difíciles de acelerar que los ligeros, algo bien conocido por cualquiera que alguna vez haya empujado un coche. En la física clásica, la masa se relacionaba además con una sustancia material indestructible, esto es, con la «materia» de la que se creía estaban hechas todas las cosas. Del mismo modo que la energía, siempre existió la creencia de su rigurosa conservación, puesto que nada de masa podía jamás perderse.

Ahora, la teoría de la relatividad nos dice que la masa no es más que una forma de energía. La energía no solo puede adoptar las diversas formas conocidas por la física clásica, sino que además puede encerrarse en la masa de un objeto. La cantidad de energía contenida, por ejemplo, en una partícula, es igual a la masa de la partícula, m, multiplicada por c2, el cuadrado de la velocidad de la luz. Así:



Considerada como una forma de energía, la masa no necesita ya ser indestructible, sino que puede transformarse en otras formas de energía. Esto sucede cuando las partículas subatómicas colisionan unas con otras. En estas colisiones las partículas pueden destruirse y la energía contenida en sus masas transformarse en energía cinética, pasando a distribuirse entre las demás partículas participantes en la colisión. Y a la inversa, cuando las partículas colisionan a velocidades muy elevadas, su energía cinética puede utilizarse para formar las masas de nuevas partículas. La siguiente fotografía muestra un claro ejemplo de tal colisión: un protón entra en la cámara de burbujas por la izquierda, desprende (por colisión) un electrón de un átomo (rastro espiral) y después colisiona con otro protón, creándose en esta colisión dieciséis nuevas partículas.



Estas creaciones y destrucciones de partículas materiales son una de las consecuencias más impresionantes de la equivalencia entre masa y energía. En los procesos de colisión realizados por la física de alta energía, la masa no se conserva. Las partículas que colisionan pueden destruirse y sus masas transformarse, una parte en las masas de otras partículas creadas en el proceso y otra parte en su energía cinética. Solo se conserva la energía total que interviene en el proceso, es decir, la energía cinética total más la energía contenida en todas las masas. Las colisiones de las partículas subatómicas constituyen nuestra principal herramienta para estudiar sus propiedades, y la relación existente entre masa y energía resulta esencial para su comprensión y descripción. Se ha verificado en innumerables ocasiones y los físicos de las partículas están totalmente habituados a esta equivalencia entre masa y energía; tan habituados que miden las masas de las partículas en unidades de energía.

El descubrimiento de que la masa no es más que una forma de energía nos obligó a modificar nuestro concepto de partícula de un modo esencial. En la física moderna la masa no se relaciona ya con una sustancia material y por lo tanto no se considera que las partículas estén compuestas de ninguna «materia» básica, sino de haces de energía. Sin embargo, dado que la energía está relacionada con la actividad y con los procesos, de ello se deducirá que la naturaleza de las partículas subatómicas es intrínsecamente dinámica. Para lograr una mejor comprensión de esto debemos recordar que estas partículas solo pueden concebirse en términos relativistas, es decir, en términos de un esquema en el cual el espacio y el tiempo se funden para formar un entorno

cuatridimensional. Las partículas no deben representarse como objetos estáticos tridimensionales, como bolas de billar o granos de arena, sino más bien como entes cuatridimensionales que tienen su existencia en el espacio-tiempo. Sus formas han de entenderse dinámicamente, como formas en el espacio y en el tiempo. Las partículas subatómicas son patrones dinámicos con un aspecto espacial y un aspecto temporal. El primero las hace aparecer como objetos con una cierta masa; el segundo, como procesos que contienen la energía equivalente.

Estos patrones dinámicos o «haces de energía» son los que forman las estructuras nucleares, atómicas y moleculares que constituyen la materia y le dan su aspecto sólido macroscópico, aspecto estable que induce a creer que está formada por algún tipo de sustancia material. A nivel macroscópico este concepto de sustancia es una aproximación muy útil; sin embargo, a nivel atómico carece ya de sentido. Los átomos se componen de partículas y estas partículas no están hechas de sustancia material alguna. Cuando las observamos, nunca vemos ninguna sustancia; lo que percibimos son modelos dinámicos que constantemente cambian de uno a otro: una danza continua de energía.

La teoría cuántica ha venido a demostrar que las partículas no son granos aislados de materia, sino patrones de probabilidad, interconexiones dentro de una infinita e inseparable telaraña cósmica. La teoría de la relatividad, por así decirlo, dio vida a estos modelos revelando su carácter intrínsecamente dinámico. Demostró que la actividad de la materia constituye la propia esencia de su ser. Las partículas del mundo subatómico no son activas solo en el sentido de que se mueven circulando a mucha velocidad, son procesos en sí mismas. La existencia de la materia y su actividad no pueden separarse. No son más que diferentes aspectos de una misma realidad espacio-temporal.

En el capítulo anterior dije que la conciencia de la «interpenetración» del espacio y el tiempo llevó a los místicos orientales a un concepto del mundo intrínsecamente dinámico. El estudio de sus escritos revela que su concepción del mundo no incluye solo el movimiento, el flujo y el cambio, sino que también parece intuir el carácter espacio-temporal de los objetos materiales, tan característico de la física relativista. Los físicos, al estudiar el mundo subatómico, tienen que tener en cuenta la unidad del espacio y el tiempo y, en consecuencia, contemplan los objetos de este mundo —las partículas— no de un modo estático, sino dinámicamente, en términos de energía, actividad y procesos. Los místicos orientales, en sus estados no ordinarios de conciencia, parecen ser conscientes a un nivel macroscópico de la interpenetración de

espacio y tiempo, y por tanto ven los objetos de un modo muy similar al que los físicos conciben las partículas subatómicas. Esto resulta especialmente sorprendente en el budismo. Una de las principales enseñanzas de Buda fue que «todas las cosas compuestas son impermanentes». En la versión original pali de este famoso dicho[11], el término empleado para «cosas» es *sankhara* (en sánscrito: *samskara*), palabra que significa ante todo «un suceso» o «un acontecimiento» y también «un hecho» o «un acto» y solo de un modo muy secundario «una cosa existente». Esto demuestra que la concepción budista de las cosas es dinámica, ya que las considera procesos constantemente cambiantes. En palabras de D. T. Suzuki:

> Los budistas concibieron los objetos como sucesos y no como cosas o sustancias […]. El concepto budista de las «cosas» como *samskara* (o *sankhara*), es decir, como «hechos» o «sucesos», deja claro que los budistas comprenden nuestra experiencia en términos de tiempo y movimiento[12].

Al igual que los físicos modernos, los budistas ven todos los objetos como procesos de un flujo universal y niegan la existencia de toda sustancia material. Esta negación es uno de los rasgos más característicos de todas las escuelas de filosofía budista. Es también característica del pensamiento chino, que desarrolló una visión similar de las cosas como etapas transitorias dentro de un *Tao* siempre fluyente y que tiene más que ver con las interrelaciones dinámicas que con una sustancia fundamental y estática. «Mientras que la filosofía europea tendía a encontrar la realidad en la sustancia —escribe Joseph Needham—, la filosofía china tendía a encontrarla en las relaciones[13]».

En estas concepciones dinámicas del mundo del misticismo oriental y de la física moderna no hay lugar para formas estáticas, ni para sustancia material alguna… Los elementos básicos del universo son patrones dinámicos, etapas transitorias dentro del «flujo constante de transformaciones y cambios», como lo llama Chuang Tzu.

Según nuestro conocimiento actual de la materia, sus modelos básicos son las partículas subatómicas, y la comprensión de las propiedades e interacciones de estas partículas constituye la principal finalidad de la física moderna. Hoy conocemos más de doscientas partículas, la mayor parte de ellas creadas artificialmente en procesos de colisión y que viven solo durante un período de tiempo extremadamente corto, ¡menos de una millonésima de

segundo! Es evidente, pues, que estas partículas de tan corta vida constituyen simplemente patrones transitorios de procesos dinámicos. Las principales preguntas que surgen con relación a estos patrones, o partículas, son las siguientes: ¿cuáles son sus rasgos distintivos?, ¿están compuestas de algo?, y de ser así, ¿de qué se componen?, o —mejor— ¿qué otros patrones contienen?, ¿cómo influyen unas en otras?, es decir, ¿cuáles son las fuerzas que actúan entre ellas? Finalmente, si las partículas mismas son procesos, ¿qué tipo de procesos son?

En la física de las partículas todas estas preguntas están inseparablemente relacionadas. Debido a la naturaleza relativista de las partículas subatómicas, no es posible comprender sus propiedades sin hacerlo con sus mutuas interacciones, y a causa de la interconexión básica existente en el mundo subatómico no comprenderemos una partícula sin antes entender a todas las demás. Los siguientes capítulos mostrarán cómo hemos llegado a entender las propiedades e interacciones que se dan entre las partículas. Aunque todavía no disponemos de una teoría completa cuántico-relativista del mundo subatómico, se han desarrollado diversas teorías y modelos parciales, que sirven para describir algunos aspectos de este mundo de un modo muy eficaz. Un repaso a los más importantes de estos modelos y teorías mostrará que todos ellos implican conceptos filosóficos que coinciden de un modo sorprendente con los que sostiene el misticismo oriental.

14

VACÍO Y FORMA

La visión clásica y mecanicista del mundo estaba basada en la idea de unas partículas sólidas, indestructibles, que se movían en el vacío. La física moderna generó una radical revisión de esta idea. No solo condujo a un concepto completamente nuevo de las «partículas», sino que transformó también el concepto clásico de «vacío» de un modo profundo. Esta transformación tuvo lugar con las denominadas teorías del campo. Comenzó con la idea de Einstein de relacionar los campos gravitacionales con la geometría del espacio, y se acentuó cuando la teoría cuántica y la teoría de la relatividad se combinaron para describir los campos de fuerza de las partículas subatómicas. En estas «teorías cuánticas del campo» la distinción entre las partículas y el espacio que las rodea pierde su fuerza original y el vacío pasa a considerarse una entidad dinámica de la mayor importancia.

El concepto de campo fue presentado en el siglo XIX por Faraday y Maxwell en su descripción de las fuerzas existentes entre cargas y corrientes eléctricas. Un campo eléctrico es una particularidad del espacio que rodea a un cuerpo cargado eléctricamente, que producirá una fuerza sobre cualquier otra carga eléctrica que se halle en ese espacio. De este modo, los campos eléctricos son creados por cuerpos cargados eléctricamente y sus efectos solo podrán percibirlos otros cuerpos también cargados eléctricamente. Los campos magnéticos son originados por cargas en movimiento, es decir, por corrientes eléctricas, y las fuerzas magnéticas resultantes solo pueden ser percibidas por otras cargas en movimiento. En la electrodinámica clásica —la teoría construida por Faraday y Maxwell—, los campos son entidades físicas primarias que pueden estudiarse sin referencia alguna a los cuerpos materiales. Los campos vibratorios eléctricos y magnéticos pueden viajar a través del espacio en forma de ondas de radio, ondas de luz u otras clases de radiación electromagnética.

La teoría de la relatividad hizo más elegante la estructura de la electrodinámica, unificando los conceptos de cargas y corrientes, así como de los campos magnéticos y eléctricos. Puesto que todo movimiento es relativo, toda carga puede también aparecer como una corriente —en un marco de referencia donde se mueva con respecto al observador— y por lo tanto su campo eléctrico puede aparecer como un campo magnético. En la formulación relativista de la electrodinámica los dos campos quedan así unificados en un solo campo electromagnético.

El concepto de campo se ha asociado no solo con la fuerza electromagnética, sino también con esa otra fuerza primordial del mundo macroscópico, la fuerza de la gravedad. Los campos gravitacionales son creados y percibidos por todos los cuerpos sólidos, y las fuerzas resultantes son siempre fuerzas de atracción, al contrario de lo que ocurre en los campos electromagnéticos, que solo son percibidos por cuerpos cargados y que además originan fuerzas de atracción y de repulsión. La teoría del campo apropiada para el campo gravitacional es la teoría general de la relatividad, y en ella la influencia de un cuerpo sólido sobre el espacio que lo rodea es de mayor alcance que la que tiene un cuerpo cargado en electrodinámica. Una vez más, el espacio que rodea al objeto está «condicionado», de tal modo que otro objeto sentirá esa fuerza, pero esta vez el condicionamiento afecta a la geometría y por lo tanto a la estructura misma del espacio.

La materia y el espacio vacío —lo lleno y lo vacío— eran los dos conceptos fundamentalmente distintos en los que se basaba el atomismo de Demócrito y de Newton. En la relatividad general estos dos conceptos no pueden permanecer ya separados. Donde exista un cuerpo sólido, habrá también un campo gravitacional, y este campo se manifestará como la curvatura del espacio que rodea a dicho cuerpo. No debemos pensar, sin embargo, que el campo llena el espacio y lo «curva». No existe distinción entre ambos. ¡El campo es el espacio curvo! En la relatividad general, el campo gravitacional y la estructura o geometría del espacio son lo mismo. En las ecuaciones del campo de Einstein están representados por una misma cantidad matemática. En la teoría de Einstein la materia no puede estar separada de su campo de gravedad, y el campo de gravedad no puede estar separado del espacio curvo. De esta forma, materia y espacio se consideran partes inseparables e interdependientes de un solo conjunto.

Los objetos materiales no solo determinan la estructura del espacio que los rodea sino que, a su vez, se ven influenciados por su entorno de un modo esencial. Según el físico y filósofo Ernst Mach, la inercia de un objeto

material —la resistencia del objeto a ser acelerado— no es una propiedad intrínseca de la materia, sino una medida de su interacción con todo el resto del universo. En su visión, la materia solo tiene inercia porque hay otra materia en el universo. Cuando un cuerpo rota, su inercia produce fuerzas centrífugas (empleadas, por ejemplo, en las secadoras centrífugas, para extraer el agua de la colada mojada), pero estas fuerzas aparecen solo porque el cuerpo rota «con relación a las estrellas fijas», como ha señalado Mach. Si esas estrellas fijas repentinamente desaparecieran, la inercia y las fuerzas centrífugas del cuerpo en rotación desaparecerían con ellas.

Este concepto de inercia conocido como principio de Mach tuvo una profunda influencia sobre Albert Einstein y fue lo que inicialmente lo motivó a construir la teoría general de la relatividad. Dada la considerable complejidad matemática de la teoría de Einstein, los físicos todavía no han sido capaces de ponerse de acuerdo respecto a si incluye realmente el principio de Mach o no. La mayoría de los físicos creen, sin embargo, que de un modo u otro debería estar incorporado en una teoría de la gravedad completa.

Así, la física moderna nos demuestra una vez más —y ahora a nivel macroscópico— que los objetos materiales no son entidades diferenciadas, sino que están inseparablemente ligados a su entorno y sus propiedades solo pueden entenderse en función de su interacción con el resto del universo. Según el principio de Mach, esa interacción se extiende hasta las distantes estrellas y galaxias. La unidad básica del cosmos se manifiesta así, no solo en el mundo de lo muy pequeño, sino también en el mundo de lo muy grande, hecho que es cada vez más reconocido en la astrofísica y la cosmología modernas. En palabras del astrónomo Fred Hoyle:

> Los recientes descubrimientos ocurridos en cosmología nos están sugiriendo de un modo muy insistente que las condiciones cotidianas no podrían existir si no fuera por las partes distantes del universo, que todas nuestras ideas sobre el espacio y la geometría dejarían totalmente de tener validez si las partes distantes del universo desaparecieran. Nuestra experiencia diaria, incluso hasta en los más mínimos detalles, parece estar tan estrechamente relacionada con las grandes formas del universo que es casi imposible contemplar ambos como separados[1].

La unidad e interrelación existente entre un objeto material y su entorno, puesta de manifiesto en la escala macroscópica por la teoría general de la relatividad, se muestra de una manera todavía más asombrosa a nivel subatómico. Aquí, para describir las interacciones que se dan entre las partículas subatómicas, las ideas de la teoría del campo clásica se combinan con las de la teoría cuántica. Tal combinación aún no ha sido posible para la interacción gravitacional a causa de la complicada fórmula matemática de la teoría de la gravedad de Einstein, pero la otra teoría del campo clásica, la electrodinámica, sí se ha podido combinar con la teoría cuántica, dando lugar a una teoría llamada «electrodinámica cuántica», que describe todas las interacciones electromagnéticas que se dan entre las partículas subatómicas. Esta teoría integra la teoría cuántica y la de la relatividad. Fue el primer modelo «cuántico-relativista» de la física moderna y sigue siendo el más efectivo.

El rasgo más nuevo y sorprendente de la electrodinámica cuántica surge de la combinación de dos conceptos: el de campo electromagnético y el de los fotones, como manifestaciones en forma de partícula de las ondas electromagnéticas. Dado que los fotones son también ondas electromagnéticas, y estas campos en vibración, tales fotones deben ser manifestaciones de campos electromagnéticos. De ahí el concepto del «campo cuántico», es decir, de un campo que puede tomar la forma de cuantos o partículas. Este es un concepto completamente nuevo que se ha ampliado para describir todas las partículas subatómicas y sus interacciones, correspondiendo cada tipo de partícula a un campo diferente. En estas «teorías del campo cuántico», el clásico contraste entre las partículas sólidas y el espacio que las rodea ha sido totalmente superado. El campo cuántico se considera una entidad física fundamental: un medio continuo que está presente en todas partes del espacio. Las partículas son simples condensaciones locales del campo, concentraciones de energía que viene y va, perdiendo así su carácter individual y disolviéndose en el campo subyacente. En palabras de Albert Einstein:

> Podemos por tanto considerar la materia como constituida por las regiones de espacio en las cuales el campo es extremadamente intenso […]. En este nuevo tipo de física no hay lugar para campo y materia, pues el campo es la única realidad[2].

La concepción de los objetos y fenómenos físicos como manifestaciones transitorias de una entidad esencial y fundamental no es solo un elemento básico de la teoría del campo cuántico, sino también de la visión oriental del mundo. Al igual que Einstein, los místicos orientales consideran esta entidad fundamental como la única realidad: todas sus manifestaciones fenoménicas se tienen por ilusorias y transitorias. La realidad del místico oriental no puede identificarse con el campo cuántico del físico porque se considera la esencia de todos los fenómenos de este mundo y, por lo tanto, está más allá de todos los conceptos e ideas. El campo cuántico, sin embargo, es un concepto bien definido que solo explica algunos de los fenómenos físicos. No obstante, la interpretación física del mundo subatómico, en términos del campo cuántico, guarda un acentuado paralelismo con la del místico oriental, que interpreta su experiencia del mundo en función de una realidad esencial y última. Una vez establecido el concepto de campo, los físicos intentaron unificar los diversos campos en un solo campo fundamental que incorporase todos los fenómenos físicos. Einstein, en particular, pasó los últimos años de su vida buscando ese campo unificado. El *Brahman* de los hindúes, al igual que el *Dharmakaya* de los budistas y el *Tao* de los taoístas, quizá pueda considerarse el campo unificado y definitivo, del cual surgen no solo los fenómenos estudiados por la física, sino también todos los demás fenómenos del mundo.

Bajo el punto de vista oriental, la realidad que sirve de base a todos los fenómenos se encuentra más allá de toda forma y escapa a toda descripción y especificación. Por tanto se dice con frecuencia que no tiene forma, que está vacía. Pero esta vacuidad no debe interpretarse como la simple nada. Al contrario, es la esencia de todas las formas y la fuente de toda vida. Así dicen los *Upanishads*:

> Brahman es vida. Brahman es alegría. Brahman es el Vacío […].
> La alegría es ciertamente lo mismo que el Vacío.
> El Vacío es ciertamente lo mismo que la alegría[3].

La misma idea es expresada por los budistas cuando llaman a la realidad última *sunyata* —«vacuidad» o «el vacío»— y afirman que es un vacío vivo, que da origen a todas las formas existentes en el mundo de los fenómenos. Los taoístas atribuyen al *Tao* una creatividad infinita y eterna, y también lo denominan vacío. «El Tao del Cielo es vacío y sin forma», dice Kuan-Tzu[4], y Lao Tse emplea varias metáforas para explicar dicho vacío. Algunas veces

compara el *Tao* con un valle hueco o con un recipiente que siempre está vacío y de este modo tiene el potencial de contener una infinidad de cosas.

Pese a emplear términos tales como *vacuidad* y *vacío*, los sabios orientales dejan muy claro que cuando hablan de *Brahman*, *sunyata* o *Tao* no se refieren al vacío ordinario, sino por el contrario, a un vacío que posee un potencial creativo infinito. De este modo, el vacío de los místicos orientales puede compararse con el campo cuántico de la física subatómica. Como el campo cuántico, da origen a una infinita variedad de formas que sostiene y, finalmente, reabsorbe. Como dicen los *Upanishads*:

> Que lo venere tranquilo, como aquello de lo que proviene, como aquello en lo que se disolverá, como aquello en lo que él respira[5].

Las manifestaciones fenomenológicas del vacío místico, de la misma manera que las partículas subatómicas, no son estáticas y permanentes, sino dinámicas y transitorias, dejándose ver y desvaneciéndose en una incesante danza de movimiento y energía. Al igual que el mundo subatómico del físico, el mundo del místico oriental es un mundo de *samsara*, de un continuo nacer y morir. Al ser manifestaciones transitorias del vacío, las cosas de este mundo no poseen una identidad fundamental. Esto se acentúa especialmente en la filosofía budista, que niega la existencia de cualquier sustancia material y también sostiene que la idea de un «yo» permanente que pasa por las sucesivas experiencias es una ilusión. Los budistas han comparado con frecuencia esta ilusión de una sustancia material y de un «yo» individual con el fenómeno de una onda acuática, en la que el movimiento hacia arriba y hacia abajo de las partículas de agua nos hace pensar que una «parte» del agua se mueve sobre la superficie. Es interesante ver que los físicos han empleado la misma analogía en el contexto de la teoría del campo para señalar la ilusión de una sustancia material creada por las partículas en movimiento. Así, escribe Hermann Weyl:

> Según la teoría del campo de la materia, una partícula material tal como un electrón es simplemente una pequeña zona de un campo eléctrico, dentro de la cual la fuerza del campo asume valores enormemente altos, indicando que una energía comparativamente muy grande está concentrada en un espacio muy pequeño. Tal nudo de energía, que de ningún modo se presenta claramente delineado contra el resto del campo, se propaga a través del espacio vacío como

> una onda de agua sobre la superficie de un lago; no existe una sustancia de la que pueda decirse que el electrón está compuesto en todo momento[6].

En la filosofía china, la idea del campo no solo está implícita en el concepto del *Tao*, al ser este vacío y sin forma y, pese a ello, productor de todas las formas, sino que también figura expresada explícitamente en el concepto del *ch'i*. Este término desempeñó un importante papel en casi todas las escuelas chinas de filosofía natural y fue particularmente notable en el neoconfucianismo, la escuela que intentó hacer una síntesis con el confucionismo, el budismo y el taoísmo. La palabra *ch'i* significa literalmente «gas» o «éter» y se usó en la antigua China para designar la respiración o energía vital que animaba a la totalidad del cosmos. En el cuerpo humano, los «caminos del *ch'i*» constituyen la base de la medicina tradicional china. La finalidad de la acupuntura es la de estimular el flujo del *ch'i* a través de estos canales. Este flujo de *ch'i* es también la base de los fluidos movimientos del *t'ai chi ch'uan*, la danza taoísta del guerrero.

Los neoconfucianistas desarrollaron una idea de *ch'i* que presenta el más asombroso parecido con el concepto del campo cuántico usado en la física moderna. Al igual que el campo cuántico, el *ch'i* es concebido como una forma de materia tenue y no perceptible, que está presente por todo el espacio y que puede condensarse en objetos materiales sólidos. En palabras de Chang Tsai:

> Cuando el *ch'i* se condensa, su visibilidad se hace aparente, surgiendo entonces las formas (de las cosas individuales). Cuando se dispersa, su visibilidad deja de ser aparente y entonces ya no hay formas. En el momento de su condensación, ¿podría acaso decirse que esta no es temporal? Y en el momento de su dispersión, ¿puede decirse sin reflexionar que entonces ya no existe[7]?

De esta manera, el *ch'i* se condensa y se dispersa rítmicamente, produciendo todas las formas que, finalmente, se disuelven otra vez en el vacío. Como dice de nuevo Chang Tsai:

> El Gran Vacío no puede componerse más que de *ch'i*. Ese *ch'i* no puede más que condensarse para formar todas las cosas. Y esas cosas

> no pueden sino dispersarse para formar (una vez más) al Gran Vacío[8].

Al igual que en la teoría del campo cuántico, el campo o el *ch'i* no es solo la esencia fundamental de todos los objetos materiales, sino que también transporta sus mutuas interacciones en forma de ondas. Las siguientes descripciones del concepto del campo dadas por Walter Thirring, y la visión china del mundo físico según Joseph Needham, evidencian su gran similitud:

> La física teórica moderna […] nos ha hecho pensar sobre la esencia de la materia en un contexto diferente. Ha llevado nuestra atención de lo visible —las partículas— a la entidad subyacente: el campo. La presencia de la materia es simplemente una perturbación del estado perfecto del campo en un lugar dado; algo accidental, casi podría decirse que es simplemente una «mancha». Por consiguiente, no existen leyes sencillas que describan las fuerzas que actúan entre las partículas elementales […]. Tanto el orden como la simetría deberán buscarse en el campo subyacente[9].
>
> Tanto en la antigüedad como en la época medieval, el universo físico chino era un todo perfectamente continuo. El *ch'i*, condensado en materia palpable, no tenía particularidades concretas; sin embargo, los objetos individuales actuaban y reaccionaban con todos los demás objetos del mundo […] en forma de ondas o de vibraciones, dependiendo, en último caso, de la alternancia rítmica en todos los niveles de las dos fuerzas fundamentales, el yin y el yang. Así, los objetos individuales tenían sus ritmos intrínsecos. Y estos estaban integrados […] dentro del modelo general de la armonía del mundo[10].

Con el concepto del campo cuántico la física moderna encontró una respuesta inesperada a la antigua pregunta de si la materia está compuesta de átomos indivisibles o de un *continuum* básico y subyacente. El campo es un *continuum* presente en todas partes del espacio y, sin embargo, en su aspecto de partícula tiene una estructura «granular» y discontinua. Estos dos aspectos en apariencia contradictorios quedan así unificados, pasando a considerarse aspectos diferentes de la misma realidad. Al igual que siempre ocurre en cualquier teoría relativista, la unificación de los dos conceptos opuestos tiene lugar de un modo dinámico: ambos aspectos de la materia se transforman sin

cesar uno en otro. El misticismo oriental resalta una unidad dinámica similar entre el vacío y las formas que crea. En palabras del lama Govinda:

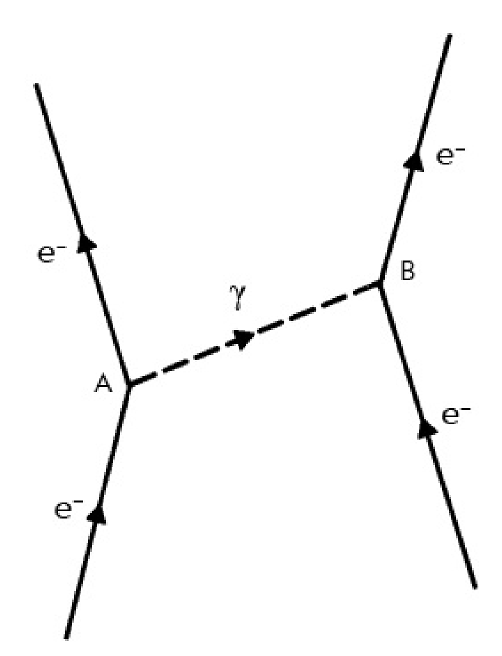
> La relación entre forma y vacío no puede concebirse como un estado de opuestos mutuamente excluyentes, sino solo como dos aspectos de la misma realidad, que coexisten y están en cooperación continua[11].

La fusión de estos conceptos opuestos en un simple conjunto está expresada en un *sutra* budista con las célebres palabras:

> La forma es el vacío y el vacío es en verdad la forma. El vacío no es diferente de la forma, la forma no es diferente del vacío. Lo que es forma es vacío, lo que es vacío es forma[12].

Las teorías del campo de la física moderna nos han conducido no solo a un nuevo punto de vista sobre las partículas subatómicas sino que también han modificado decisivamente nuestras nociones sobre las fuerzas existentes entre estas partículas. El concepto del campo originalmente se relacionó con el concepto de fuerza, e incluso en la teoría del campo cuántico todavía se asocia con las fuerzas existentes entre las partículas. El campo electromagnético, por ejemplo, puede manifestarse como un «campo libre» en forma de ondas/fotones viajeros, o bien puede desempeñar el papel de un campo de fuerza entre partículas cargadas eléctricamente. En este último caso, la fuerza se manifiesta como un intercambio de fotones entre las partículas que interactúan. La repulsión eléctrica entre dos electrones, por ejemplo, se ve mediatizada por estos intercambios de fotones.

Este nuevo concepto de fuerza puede parecer difícil de entender, pero se ve mucho más claro cuando el proceso de intercambio de fotones se representa en un diagrama espaciotemporal. El siguiente diagrama muestra dos electrones acercándose uno a otro; uno de ellos emite un fotón (indicado por g) en el punto A y el otro lo absorbe en el punto B.



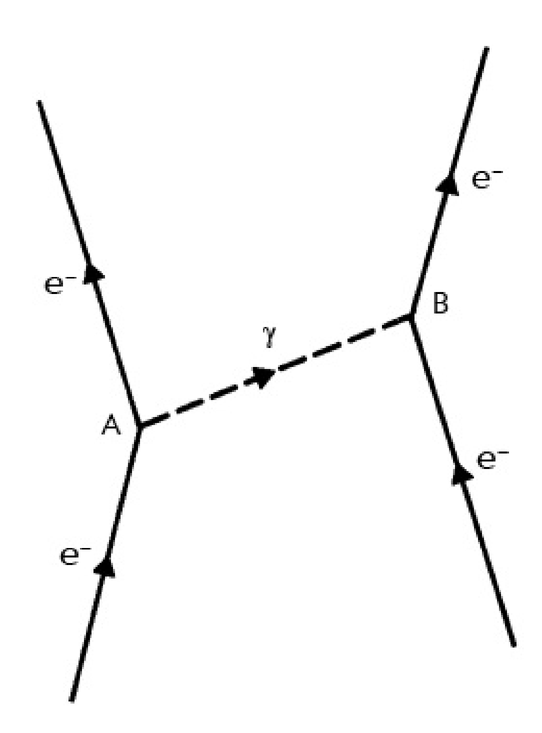
Repulsión mutua de dos electrones mediante el intercambio de un fotón

En el momento en que el primer electrón emite el fotón, invierte su dirección y cambia su velocidad (como puede verse por la distinta dirección y la inclinación de su línea del mundo), y lo mismo hace el segundo electrón cuando absorbe el fotón. Al final, los dos electrones se separan, tras haberse repelido uno a otro a través del intercambio del fotón. La interacción total entre los electrones incluirá una serie de intercambios de fotones y como resultado los electrones parecerán desviarse uno de otro en suaves curvas.

En términos de la física clásica se diría que los electrones ejercen una fuerza repulsiva uno sobre el otro. Sin embargo, ahora esto se considera una forma muy imprecisa de describir la situación. Ninguno de los dos electrones «siente» fuerza alguna cuando se aproxima al otro. Todo lo que hacen es influirse mutuamente a través de los fotones que intercambian. La fuerza no es más que el efecto macroscópico de estos múltiples intercambios de fotones. El concepto de fuerza, por tanto, carece ya de utilidad en la física subatómica. Es un concepto clásico que asociamos (incluso aunque solo sea subconscientemente) con la idea newtoniana de una fuerza que se siente a distancia. En el mundo subatómico no existen tales fuerzas, sino solo interacciones entre las partículas, que son medidas a través de campos, es decir, a través de otras partículas. Por esta razón los físicos prefieren hablar de interacciones en lugar de hacerlo de fuerzas.

Según la teoría del campo cuántico, todas las interacciones ocurren mediante intercambios de partículas. En el caso de las interacciones

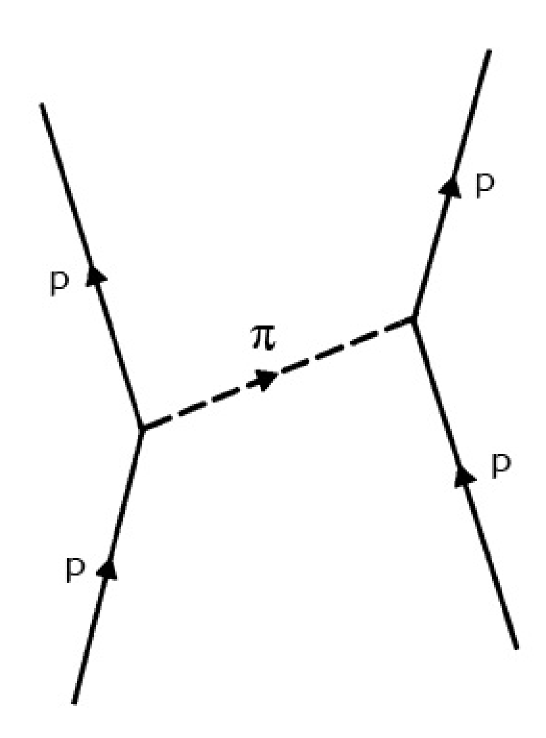
electromagnéticas, las partículas intercambiadas son fotones; los nucleones, sin embargo, interactúan mediante la mucho más potente fuerza nuclear, dando lugar a las llamadas «interacciones fuertes» que se manifiestan como el intercambio de un nuevo tipo de partículas llamadas «mesones». Hay muchos tipos diferentes de mesones que pueden ser intercambiados entre protones y neutrones. Cuanto más cerca están los nucleones unos de otros, más numerosos y pesados son los mesones que intercambian. De esta forma, las interacciones entre los nucleones están relacionadas con las propiedades de los mesones intercambiados y estos, a su vez, interactúan mutuamente a través del intercambio de otras partículas. Por ello, no es posible comprender la fuerza nuclear a un nivel fundamental sin entender todo el espectro de las partículas subatómicas.



En la teoría del campo cuántico, todas las interacciones entre partículas pueden representarse en diagramas espaciotemporales, y cada diagrama se relaciona con una expresión matemática que nos permite calcular la probabilidad de que ocurra el correspondiente proceso. La correspondencia exacta entre los diagramas y las expresiones matemáticas fue establecida en 1949 por Richard Feynman; desde entonces, se los conoce con el nombre de diagramas de Feynman. Una característica crucial de esta teoría es la creación y destrucción de partículas. Por ejemplo, el fotón de nuestro diagrama se crea en el proceso de emisión en el punto A y desaparece al ser absorbido en el punto B. Tal proceso solo puede concebirse en una teoría relativista donde las

partículas no se consideren objetos indestructibles, sino patrones dinámicos con una cierta cantidad de energía susceptible de ser redistribuida al formarse nuevos patrones.

La creación de una partícula con masa solo es posible cuando se suministra la energía correspondiente a su masa, por ejemplo mediante un proceso de colisión. En el caso de las interacciones fuertes, esta energía no está siempre asequible, como cuando dos nucleones interactúan uno con otro en un núcleo atómico. Por ello, en tales casos, el intercambio de mesones sólidos no debería ser posible. Sin embargo, estos intercambios tienen lugar. Dos protones, por ejemplo, pueden intercambiar un «mesón-pi» o «pion», cuya masa es aproximadamente la séptima parte de la masa del protón:



Intercambio de un pion (π) entre dos protones (p)

Las razones por las que este tipo de procesos de intercambio son posibles, pese a la aparente carencia de energía para crear el mesón, hay que hallarlas en cierto «efecto cuántico» conectado con el principio de incertidumbre. Como dije anteriormente, los sucesos subatómicos que tienen lugar dentro de un muy corto período de tiempo implican una gran incertidumbre en cuanto a la energía. El intercambio de mesones, es decir, su creación y posterior destrucción, son sucesos de este tipo. Tienen lugar durante un período de tiempo tan corto que la incertidumbre de la energía es suficiente para permitir la creación de los mesones. Estos mesones son llamados partículas

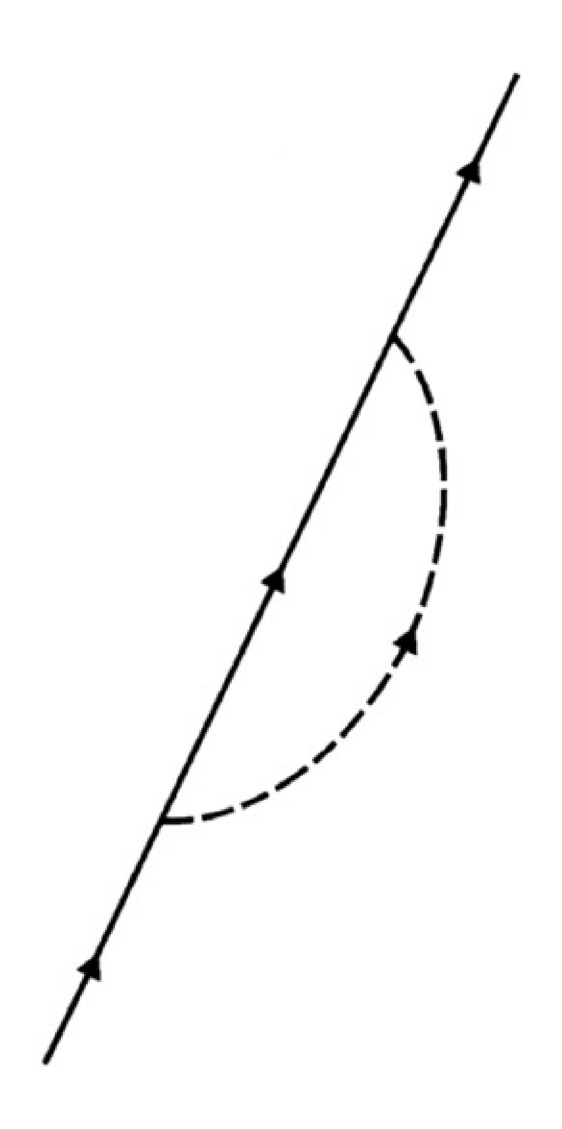
«virtuales». Se diferencian de los «verdaderos» mesones creados en procesos de colisión en que solo pueden existir durante el período de tiempo permitido por el principio de incertidumbre. Cuanto más pesados sean los mesones (es decir, cuanta más energía se precise para crearlos), más corto será el tiempo permitido para el proceso de intercambio. Este es el motivo por el cual los nucleones pueden intercambiar mesones pesados solo cuando se encuentran muy cerca unos de otros. El intercambio de fotones virtuales, sin embargo, puede darse a distancias indefinidas, pues los fotones, al no tener masa, pueden crearse con cantidades de energía indefinidamente pequeñas. Este análisis de las fuerzas nucleares y electromagnéticas permitió a Hideki Yukawa en 1935 no solo predecir la existencia del pion, doce años antes de que fuera observado, sino también estimar aproximadamente su masa en la escala de la fuerza nuclear.

De este modo, en la teoría del campo cuántico, todas las interacciones se representan como intercambios de partículas virtuales. Cuanto más fuerte sea la interacción, cuanto mayor sea la «fuerza» resultante entre las partículas, más elevada será la probabilidad de que tales procesos de intercambio tengan lugar, con mayor frecuencia se intercambiarán partículas virtuales. El papel de las partículas virtuales, sin embargo, no se limita a estas interacciones. Un solo nucleón, por ejemplo, puede muy bien emitir una partícula virtual y reabsorberla poco después. Siempre que esto ocurra dentro del tiempo permitido por el principio de incertidumbre, no existe nada que impida tal proceso. Más adelante se reproduce el diagrama de Feynman correspondiente a un neutrón que emite y reabsorbe un pion.

La probabilidad de tales procesos de «autointeracción» es muy elevada entre los nucleones a causa de su fuerte influencia mutua. Esto quiere decir que los nucleones están, de hecho, emitiendo y absorbiendo partículas virtuales todo el tiempo. Según la teoría del campo, han de considerarse centros de actividad continua, rodeados de nubes de partículas virtuales. Los mesones virtuales tienen que desaparecer muy poco tiempo después de su creación, lo que significa que no pueden alejarse mucho del nucleón. Esta nube de mesones es, por tanto, muy pequeña. Sus zonas exteriores están pobladas de mesones ligeros (piones en su mayoría), mientras que los mesones más pesados tienen que reabsorberse dentro de un tiempo mucho más corto y por consiguiente se ven confinados a las partes interiores de la nube.

Todo nucleón está rodeado por esa nube de mesones virtuales que viven solo durante un período de tiempo extremadamente corto. Sin embargo, los

mesones virtuales pueden convertirse en mesones verdaderos en circunstancias especiales. Cuando un nucleón es golpeado por otra partícula que se mueve a gran velocidad, una parte de la energía cinética de esa partícula puede transferirse a un mesón virtual, liberándolo así de la nube. De este modo es como se crean verdaderos mesones en las colisiones de alta energía. Por otro lado, cuando dos nucleones se aproximan tanto uno a otro que sus nubes de mesones se superponen, algunas de las partículas virtuales tal vez no regresen para ser absorbidas por el nucleón que originalmente las creó, sino que quizá «salten al otro lado», pasando a ser absorbidas por el otro nucleón. De este modo surgen los procesos de intercambio que constituyen las interacciones fuertes.



Un neutrón (*n*) que emite y reabsorbe un pion.

Esto muestra claramente que las interacciones entre las partículas, y por tanto las «fuerzas» existentes entre ellas, están determinadas por la composición de sus nubes virtuales. El ámbito de una interacción, es decir, la distancia entre las partículas a la que comenzará la interacción, dependerá de la extensión de sus nubes virtuales y la forma que la interacción tome dependerá de las propiedades de las partículas que estén presentes en las nubes. Así, las fuerzas electromagnéticas son originadas por la presencia de fotones virtuales «dentro» de las partículas cargadas eléctricamente, mientras que las interacciones fuertes entre nucleones surgen de la presencia de piones virtuales y otros mesones «dentro» de los propios nucleones. En la teoría del campo, las fuerzas que actúan entre las partículas aparecen como propiedades intrínsecas de las mismas partículas. Fuerza y materia, los dos conceptos tan claramente separados en el atomismo griego y newtoniano, se cree ahora que tienen su origen común en esos patrones dinámicos que llamamos partículas.

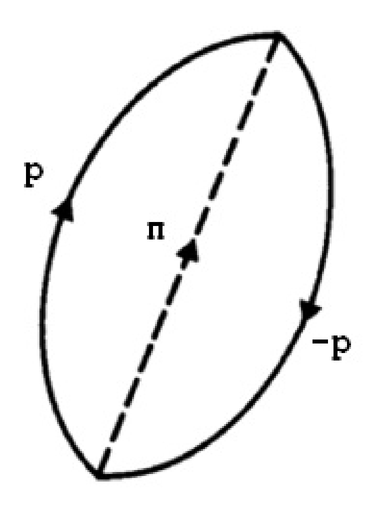
Este punto de vista sobre las fuerzas es también característico del misticismo oriental, pues considera el movimiento y el cambio propiedades esenciales e intrínsecas de todas las cosas: «Todas las cosas que giran —dice Chang Tsai refiriéndose a los cuerpos celestes— tienen una fuerza espontánea y su movimiento no les es impuesto desde fuera[13]». En el *I Ching* leemos:

> Las leyes [naturales] no son fuerzas externas a las cosas, sino que representan la armonía del movimiento inmanente en ellas[14].

Esta antigua descripción china de las fuerzas como representando la armonía del movimiento dentro de las cosas parece especialmente apropiada, a la luz de la teoría del campo cuántico, donde las fuerzas que actúan entre las partículas se consideran reflejos de los patrones dinámicos (las nubes virtuales) inherentes a dichas partículas.

Las teorías del campo de la física moderna nos obligan también a abandonar la distinción clásica entre partículas materiales y vacío. Tanto la teoría del campo de la gravedad de Einstein como la teoría del campo cuántico demuestran que las partículas no pueden ser separadas del espacio que las rodea. Por un lado, determinan la estructura de dicho espacio y por otro, no se las puede considerar entidades aisladas, sino condensaciones de un campo continuo, presente en todo el espacio. En la teoría del campo cuántico, este campo se tiene como la base de todas las partículas y de sus interacciones mutuas:

> El campo existe siempre y en todos los lugares; nunca puede ser eliminado. Es el que transporta a todos los fenómenos materiales. Es el «vacío» del cual el protón crea los mesones-pi. Tanto el aparecer como el desvanecerse de las partículas son sencillamente formas de movimiento del campo[15].



Un diagrama de vacío.

La distinción entre materia y espacio vacío tuvo finalmente que abandonarse cuando se hizo evidente que las partículas virtuales pueden ir a la existencia espontáneamente del vacío y desvanecerse de nuevo en él, sin que esté presente ningún nucleón ni otra partícula de interacción fuerte. Aquí tenemos un «diagrama de vacío» que representa dicho proceso: tres partículas —un protón (p), un antiprotón ($\bar{p}$) y un pion (p)— se forman de la nada y desaparecen de nuevo en el vacío. Según la teoría del campo, sucesos de este tipo ocurren todo el tiempo. El vacío, desde luego, no está vacío. Por el contrario, contiene un número ilimitado de partículas que nacen y se desvanecen incesantemente.

Aquí, pues, nos encontramos con que el vacío de la física moderna presenta el más estrecho paralelismo con el vacío del misticismo oriental. Al igual que el vacío oriental, el «vacío físico» —como se lo denomina en la teoría del campo— no es un estado de simple nada, sino que potencialmente contiene todas las formas del mundo de las partículas. Estas formas, a su vez, no son entidades físicas independientes, sino meras manifestaciones transitorias del vacío fundamental. Como dice el sutra, «la forma es el vacío, y el vacío es en verdad la forma».

La relación entre las partículas virtuales y el vacío es una relación esencialmente dinámica; el vacío es verdaderamente un «vacío vivo», que pulsa constantemente con ritmos de creación y de destrucción. El descubrimiento de la cualidad dinámica del vacío está considerado por muchos físicos como uno de los hallazgos más importantes de la física moderna. Desde el papel de vacío contenedor de los fenómenos físicos, el vacío se ha convertido en una entidad dinámica de la mayor importancia. Así, los resultados de la física moderna parecen confirmar las palabras del sabio chino Chang Tsai:

> Cuando se sabe que el gran vacío está lleno de *ch'i*, se da uno cuenta de que no existe la nada[16].

15

LA DANZA CÓSMICA

La exploración del mundo subatómico llevada a cabo durante el siglo XX puso de manifiesto la naturaleza intrínsecamente dinámica de la materia. Mostró que los componentes de los átomos, es decir, las partículas subatómicas, son modelos dinámicos que carecen de existencia como entidades aisladas, existiendo solo como partes integrantes de un inseparable entretejido de interacciones. Estas interacciones suponen un incesante flujo de energía que se manifiesta como intercambio de partículas, como una influencia dinámica mutua en la que ciertas partículas son creadas y destruidas en una continua variación de patrones energéticos. Estas interacciones que tienen lugar entre las partículas originan las estructuras que componen el mundo material, estructuras que no permanecen estáticas, sino que oscilan con movimientos rítmicos. Todo el universo está, pues, engranado dentro de un movimiento y de una actividad sin fin, en una continua danza cósmica de energía.



Esta danza involucra una enorme variedad de patrones, pero, sorprendentemente, todos ellos caen dentro de unas pocas categorías. El estudio de las partículas subatómicas y sus interacciones revela un orden extraordinario. Todos los átomos y, por ello, todas las formas de materia existentes en nuestro medio ambiente están compuestos de solo tres partículas sólidas: el protón, el neutrón y el electrón. Una cuarta partícula, el fotón, no tiene masa y representa la unidad de radiación electromagnética. El protón, el

electrón y el fotón son partículas estables, lo cual quiere decir que viven para siempre a menos que se vean implicadas en un proceso de colisión en el que puedan ser aniquiladas. El neutrón, por el contrario, se puede desintegrar espontáneamente. Esta desintegración se denomina «emisión beta» y constituye el proceso básico de cierto tipo de radioactividad. El neutrón se transforma entonces en un protón, creándose un electrón y un nuevo tipo de partícula denominada neutrino, que carece de masa. Del mismo modo que el protón y el electrón, el neutrino es también estable. Usualmente se representa con la letra griega *n*, y el proceso de emisión beta se escribe simbólicamente así:

$$n \rightarrow + \bar{e} + \nu$$

La transformación de neutrones en protones que tiene lugar en los átomos de una sustancia radioactiva supone una transformación de estos átomos en átomos de una especie totalmente diferente. Los electrones creados en este proceso se emiten en forma de una poderosa radiación que es muy utilizada en biología, en medicina y en la industria. Los neutrones, sin embargo, aunque se emiten en igual número, son muy difíciles de detectar puesto que carecen de masa y de carga eléctrica.

Como ya he mencionado, para cada partícula existe una antipartícula, con igual masa, pero de carga opuesta. El fotón es su propia antipartícula; la antipartícula del electrón se llama positrón. También existe un antiprotón, un antineutrón y un antineutrino. La partícula sin masa creada en la emisión beta no es, de hecho, un neutrino, sino un antineutrino (representado por $\bar{\nu}$), así que el proceso escrito correctamente sería el siguiente:

$$n \rightarrow + \bar{e} + \bar{\nu}$$

Las partículas mencionadas hasta ahora constituyen solo una pequeña parte de todas las partículas subatómicas conocidas hoy día. Todas las demás son inestables y se desintegran tras un cortísimo período de tiempo, dando lugar a otras partículas, algunas de las cuales pueden volver a desintegrarse hasta que

surja una combinación de partículas que sea estable. El estudio de las partículas inestables resulta muy caro, pues han de crearse en cada investigación mediante procesos de colisión, para lo cual son necesarios enormes aceleradores de partículas, cámaras de burbujas y otros dispositivos extremadamente sofisticados, imprescindibles para la detección de este tipo de partículas.

La mayoría de las partículas inestables viven solo durante un período muy corto de tiempo, en comparación con la escala humana: menos de una millonésima de segundo. Sin embargo, su tiempo de vida ha de considerarse con relación a su tamaño, que es también diminuto. Visto de este modo, resulta que muchas de ellas viven durante un período relativamente largo y que una millonésima de segundo es, en el mundo de la partícula, un enorme lapso de tiempo. Durante un segundo el ser humano puede atravesar una distancia equivalente a unas cuantas veces su tamaño. Para una partícula, el lapso de tiempo equivalente sería por tanto el tiempo que necesitaría para recorrer una distancia que fuera unas cuantas veces su propio tamaño. A esta unidad de tiempo la podríamos llamar «segundo de partícula[*1]».

Para cruzar un núcleo de tamaño medio, una partícula necesita aproximadamente diez de estos «segundos de partícula» viajando a una velocidad cercana a la de la luz, como lo hacen las partículas en los experimentos de colisión. Entre el gran número de partículas inestables, existen alrededor de dos docenas que pueden atravesar varios átomos antes de desintegrarse. Esta es una distancia equivalente a unas cien mil veces su tamaño y que corresponde a un tiempo de unos cuantos cientos de «horas de partícula». Estas partículas están relacionadas en la tabla siguiente, junto con las partículas estables ya citadas. La mayoría de las partículas inestables de la tabla llegan a recorrer un centímetro entero, o incluso varios centímetros antes de desintegrarse, y las que viven más tiempo, una millonésima de segundo, pueden viajar varios cientos de metros antes de su desintegración, longitud enorme en relación con su tamaño.

Todas las demás partículas conocidas hasta ahora pertenecen a una categoría denominada «resonancias», que trataremos con más detalle en el capítulo siguiente. Viven durante un tiempo considerablemente más corto y se desintegran después de unos cuantos «segundos de partícula», de modo que nunca pueden viajar distancias mayores que unas pocas veces su tamaño. Esto significa que no es posible verlas en la cámara de burbujas; su existencia solo se puede deducir de una manera indirecta. Los rastros de la cámara de burbujas solamente pueden trazarlos las partículas relacionadas en la tabla.

NOMBRE			SÍMBOLO	
			PARTÍCULA	ANTIPARTÍCULA
		Fotón	γ	
Leptones		Neutrino	ν_e ν_μ	$\bar{\nu}_e$ $\bar{\nu}_\mu$
		Electrón	e^-	e^+
		Muón	μ^-	μ^+
Hadrones	Mesones	Pion	π^+ π^o π^-	
		Kaón	K^+ K^o	$\bar{K}^o$ $\bar{K}^-$
		Eta	η	
	Bariones	Protón	p	$\bar{p}$
		Neutrón	n	$\bar{n}$
		Lambda	Λ	$\bar{\Lambda}$
		Sigma	Σ^+ Σ^o Σ^o	$\bar{\Sigma}^+$ $\bar{\Sigma}^o$ $\bar{\Sigma}^o$
		Cascada	Ξ^o Ξ^-	$\bar{\Xi}^o$ $\bar{\Xi}^-$
		Omega	Ω	$\bar{\Omega}^-$

Esta tabla muestra trece tipos distintos de partículas, muchas de las cuales aparecen en diferentes «estados de carga». Los piones, por ejemplo, pueden tener carga positiva (π^+), negativa (π^-) o ser eléctricamente neutros (π^o). Hay dos tipos de neutrinos: uno de ellos interactúa solo con los electrones (ν_e); el otro, solo con los muones (ν_μ). Se han relacionado también las antipartículas, siendo tres de las partículas (γ, π^o, η) sus propias antipartículas. Las partículas están relacionadas en orden creciente según su masa: el fotón y los neutrinos no tienen masa; el electrón es la partícula más ligera que posee masa; los muones, piones y kaones son cientos de veces más pesados que el electrón, y las demás partículas llegan a ser unas tres mil veces más pesadas.

Todas estas partículas pueden crearse y aniquilarse en los procesos de colisión. Cada una de ellas puede también convertirse en partícula virtual y contribuir así a la interacción entre otras partículas. Aparentemente esto generaría un gran número de interacciones entre distintas partículas, pero por fortuna, aunque no sabemos todavía por qué, todas estas interacciones

parecen caer dentro de una de las cuatro categorías siguientes, cuyas fuerzas de interacción son marcadamente diferentes:

- Interacciones fuertes
- Interacciones electromagnéticas
- Interacciones débiles
- Interacciones gravitacionales

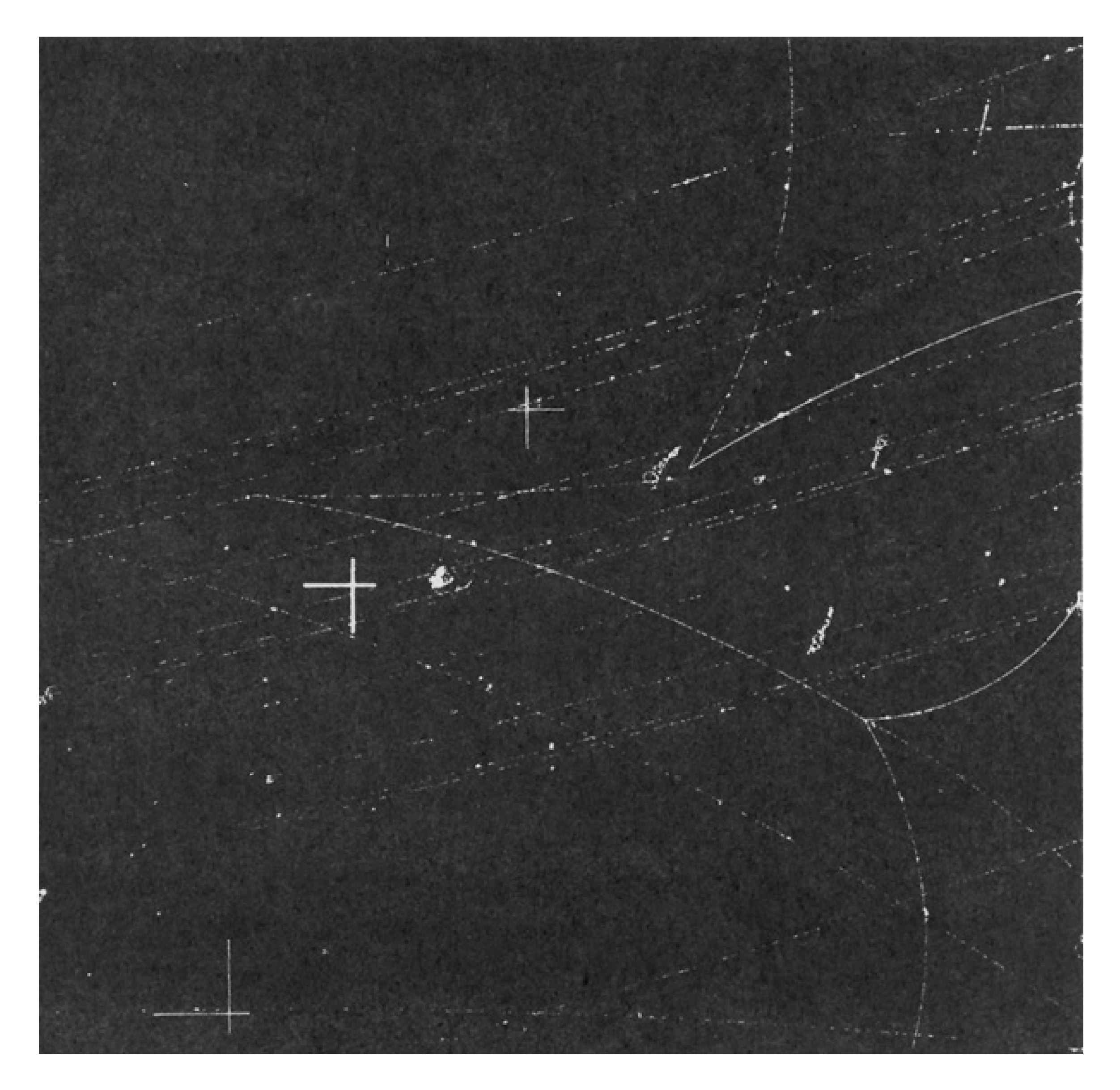
De todas ellas, las interacciones electromagnéticas y gravitacionales son las más conocidas, pues pueden experimentarse en el mundo macroscópico. La interacción gravitacional actúa entre todas las partículas, pero es tan débil que no puede detectarse experimentalmente. En el mundo macroscópico, sin embargo, el gran número de partículas que componen los cuerpos sólidos combinan su interacción gravitacional para producir la fuerza de gravedad, la fuerza dominante en el universo a gran escala. Las interacciones electromagnéticas tienen lugar entre todas las partículas cargadas eléctricamente. Son las responsables de los procesos químicos y de la formación de todas las estructuras atómicas y moleculares. Las interacciones fuertes mantienen unidos a los protones y a los neutrones en el núcleo atómico. Constituyen la fuerza nuclear, la más potente, con mucho, de todas las fuerzas de la naturaleza. Los electrones, por ejemplo, están ligados a los núcleos atómicos mediante la fuerza electromagnética con energías de aproximadamente diez unidades (llamadas voltios de electrón), mientras que la fuerza nuclear que mantiene unidos a los protones y neutrones alcanza energías de unos diez millones de unidades.

En las interacciones fuertes no son los nucleones las únicas partículas que intervienen. De hecho, la enorme mayoría de las partículas son de interacción fuerte. Entre todas las conocidas hoy, solo cinco (y sus antipartículas) no participan en las interacciones fuertes. Se trata del fotón y los tres leptones relacionados en la parte superior de la tabla[*2] Así, todas las partículas forman dos grandes grupos: los leptones y los hadrones, o partículas de fuerte interacción. Los hadrones se dividen a su vez en mesones y bariones, que difieren de diversos modos; por ejemplo, los bariones tienen antipartículas diferentes, mientras que un mesón puede ser su propia antipartícula.

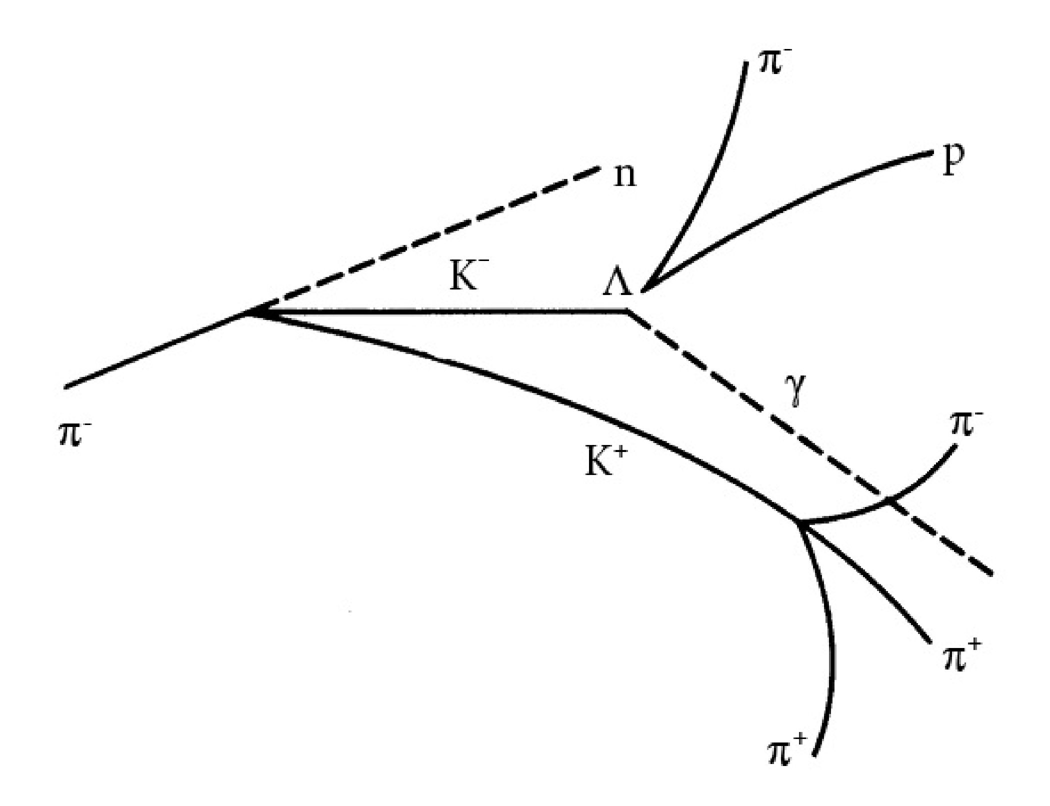
Los leptones participan en el cuarto tipo de interacciones, las interacciones débiles. Estas son tan débiles, y tienen un alcance tan corto, que no son capaces de unir nada, mientras que las otras tres dan origen a fuerzas de unión: las interacciones fuertes unen los núcleos atómicos; las electromagnéticas, los átomos y las moléculas, y las gravitacionales, los

planetas, las estrellas y las galaxias. Las interacciones débiles se manifiestan solo en ciertos tipos de colisiones y en las desintegraciones de algunas partículas, tales como la emisión beta anteriormente mencionada.

Todas las interacciones entre hadrones ocurren mediante el intercambio de otros hadrones. Estos intercambios entre partículas con masa son los que hacen que las interacciones fuertes tengan un alcance tan corto. Se extienden solo a una distancia de unos cuantos tamaños de partícula y por consiguiente nunca pueden constituir una fuerza macroscópica. De este modo las interacciones fuertes no pueden experimentarse en el mundo diario. Las interacciones electromagnéticas, por otro lado, se producen mediante el intercambio de fotones sin masa y por eso su alcance es indefinidamente largo; por este motivo las fuerzas eléctricas y magnéticas se perciben en el mundo a gran escala. También las interacciones gravitacionales se cree que tienen lugar mediante una partícula sin masa denominada gravitón, pero son tan débiles que todavía no ha sido posible observar dicho gravitón, aunque no hay razones serias para dudar de su existencia.



Las interacciones débiles, finalmente, tienen un alcance extremadamente corto —mucho más corto que el de las interacciones fuertes— y por ello se supone que se producen mediante el intercambio de partículas muy pesadas. Estas hipotéticas partículas, de las cuales se supone que existen tres tipos, llamados W^+, W- y Z, se cree que desempeñan un papel análogo al del fotón en las interacciones electromagnéticas, excepto por su gran masa. Esta analogía constituye, de hecho, la base de los más recientes avances en un nuevo tipo de teorías cuánticas del campo llamadas teorías *gauge*, que han hecho posible construir una teoría del campo unificada para las interacciones electromagnéticas y débiles.

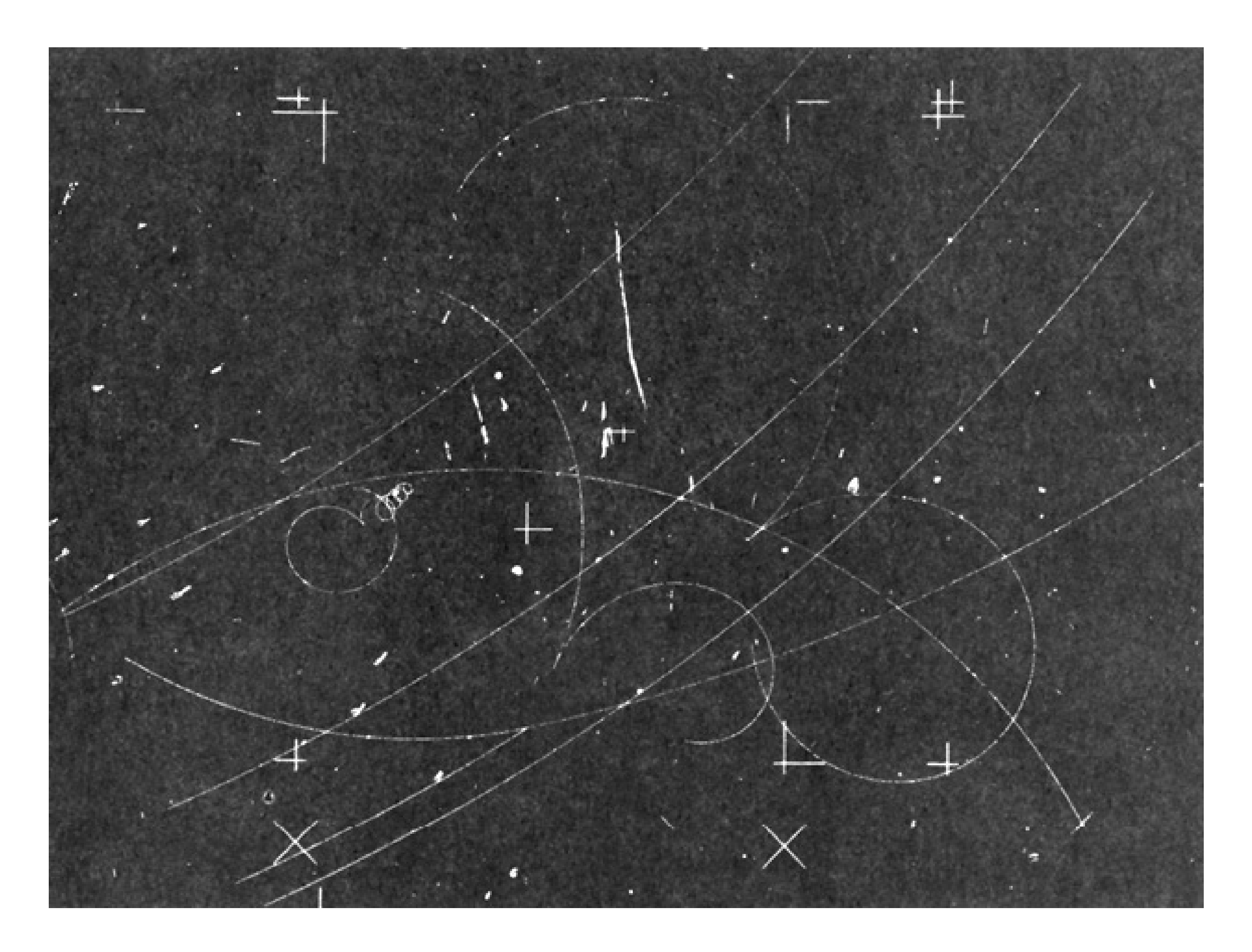


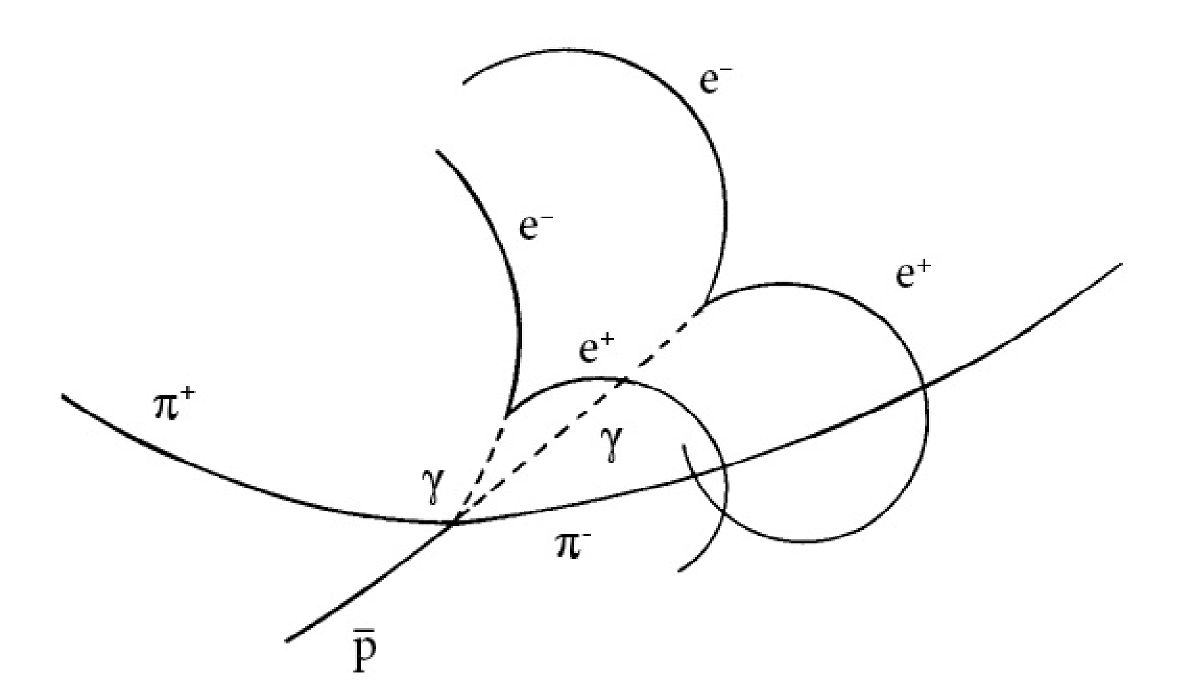
Sobre las dos ilustraciones anteriores:
Intrincada secuencia de colisiones y desintegraciones de partículas: un pion negativo (π^-), que llega por la izquierda, colisiona con un protón –es decir, con el núcleo de un átomo de hidrógeno– «que esperaba» en la cámara de burbujas; ambas partículas son aniquiladas y se crean un neutrón (n) y dos kaones (K^- y K^+); el neutrón desaparece sin dejar rastro; el K^- colisiona en la cámara con otro protón, con lo que se aniquilan las dos partículas una a otra y crean una lambda (Λ) y un fotón (γ). Ninguna de estas dos partículas es visible, pero la Λ se descompone tras un tiempo muy corto, generando un protón (p) y un π^-, y ambos producen rastros. La corta distancia entre la creación de la Λ y su descomposición puede verse claramente en la fotografía. Finalmente, el K^+, que fue creado en la colisión inicial, viaja unos momentos antes de desintegrarse en tres piones.

En muchos de los procesos de colisión efectuados en la física de alta energía, las interacciones fuertes, electromagnéticas y débiles se combinan para producir una intrincada secuencia de sucesos. Las iniciales partículas colisionantes con frecuencia se destruyen, y se crean varias partículas nuevas que o bien entran en nuevas colisiones o bien se desintegran, algunas veces en varios pasos, hasta formar las partículas estables que finalmente permanecen. La ilustración siguiente muestra la fotografía de una cámara de burbujas en la que se aprecia esta secuencia de creación y destrucción[*3]. En ella se ve la impresionante mutabilidad de la materia a nivel de la partícula, que muestra

una cascada de energía en la que varios patrones o partículas se forman y se disuelven.

En estas secuencias la creación de materia es sorprendente, pues un fotón sin masa, pero con gran energía, que no es visible en la cámara de burbujas, de pronto hace explosión, generando un par de partículas cargadas eléctricamente —un electrón y un positrón—, las cuales siguen curvas divergentes. Aquí tenemos un hermoso ejemplo de un proceso que contiene dos de estas creaciones.

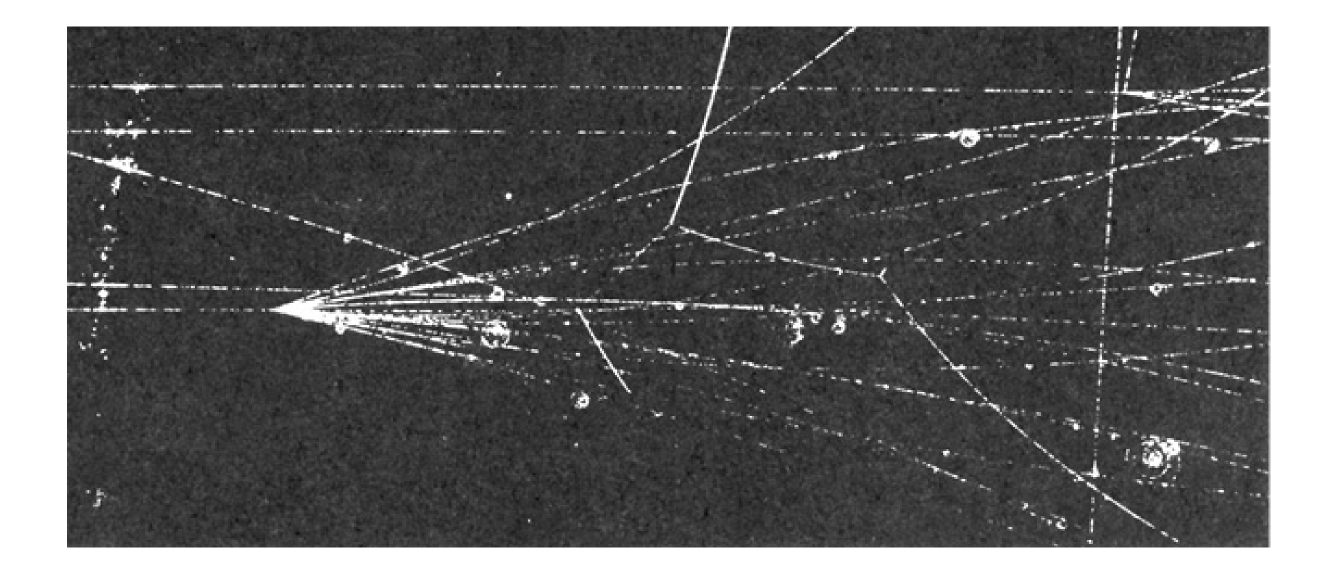




Una secuencia de sucesos en la que surgen dos creaciones: un antiprotón ($\bar{p}$) llegando desde abajo colisiona con un protón de la cámara de burbujas, creando un π^+ (que sale proyectado hacia la izquierda), un π^- (que va hacia la derecha) y dos fotones (γ), cada uno de los cuales crea un par electrón-positrón. Los positrones (e^+) se curvan hacia la derecha; los electrones (e^-), hacia la izquierda.

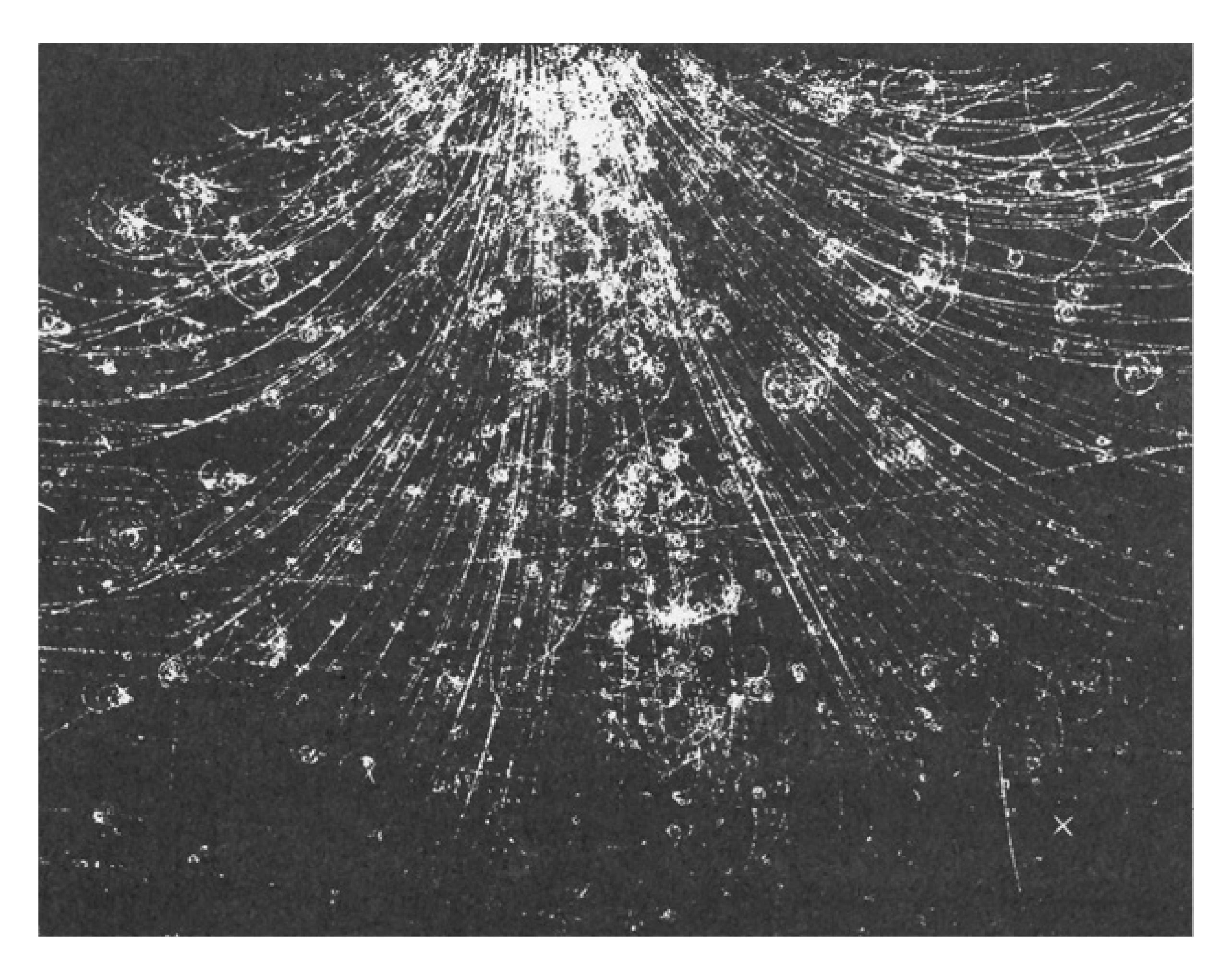
Cuanto más elevada sea la energía inicial en estos procesos de colisión, más partículas pueden crearse. Las siguientes fotografías muestran la creación de ocho piones en una colisión entre un antiprotón y un protón, además de un ejemplo de un caso extremo: la creación de dieciséis partículas en una sola colisión entre un pion y un protón.

Creación de ocho piones en una colisión entre un antiprotón ($\bar{p}$) y un protón (que esperaba en la cámara de burbujas).



Creación de dieciséis partículas en una colisión entre un pion y un protón.

Todas estas colisiones se han generado artificialmente en el laboratorio mediante enormes máquinas en las cuales se aceleran las partículas a las energías requeridas. En la mayor parte de los fenómenos naturales que tienen lugar en la Tierra, las energías no son lo suficientemente elevadas para crear partículas sólidas. Sin embargo, en el espacio la situación es totalmente diferente. En el centro de las estrellas tienen lugar constantemente y de forma natural procesos de colisión similares a los estudiados en los laboratorios de aceleración, creándose grandes cantidades de partículas subatómicas. En algunas estrellas estos procesos causan una radiación electromagnética extremadamente potente —en forma de ondas de radio, ondas de luz o rayos X– que constituye la principal fuente de información que tienen los astrónomos sobre el universo. El espacio interestelar, así como el existente entre las galaxias, se encuentra de este modo lleno de radiaciones electromagnéticas de diversas frecuencias, es decir, de fotones con varias energías. Sin embargo, no son estas las únicas partículas que viajan por el cosmos. Los «rayos cósmicos» no solo contienen fotones, sino también partículas sólidas de todos los tipos cuyo origen es todavía un misterio. La mayor parte de ellas son protones, algunos de los cuales pueden tener energías extraordinariamente elevadas, mucho más elevadas que las que se alcanzan en los aceleradores de partículas más potentes.

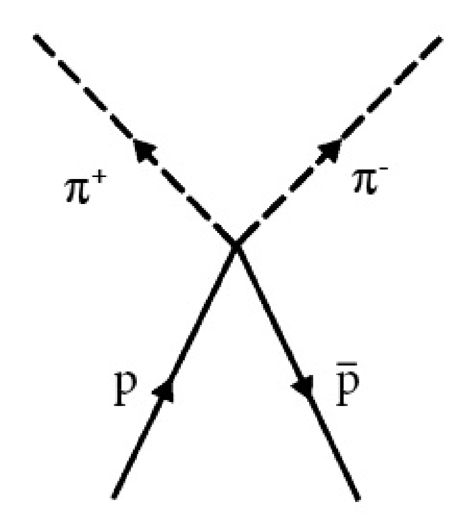


Un rayo cósmico que accidentalmente se introdujo en una cámara de burbujas provocó esta «ducha» de más de cien partículas. Los trazos horizontales corresponden a las partículas procedentes del acelerador.

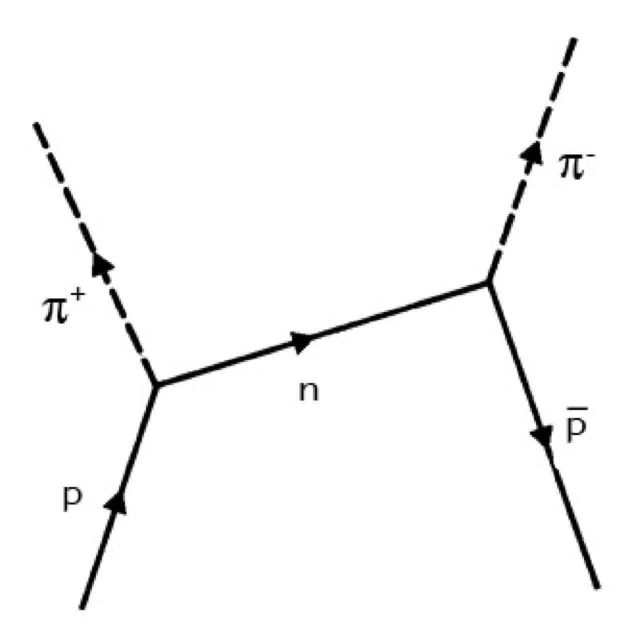
Cuando estos «rayos cósmicos» altamente energéticos llegan a la atmósfera terrestre, colisionan con los núcleos de las moléculas de aire y producen una gran variedad de partículas secundarias que o bien se desintegran o bien sobreviven y colisionan de nuevo, creando más partículas que colisionan y se desintegran otra vez, hasta que la última de ellas llega hasta la Tierra. De esta manera, un solo protón que llegue a la atmósfera terrestre puede dar origen a toda una cascada de sucesos en los que su energía cinética original se transformará en una lluvia de partículas diversas, que normalmente es absorbida a medida que penetra en el aire, experimentando múltiples colisiones. El mismo fenómeno que puede observarse en los experimentos de colisión con alta energía ocurre constantemente de un modo natural, pero de forma más intensa, en la atmósfera de la Tierra; un continuo flujo de energía pasa por una gran variedad de modelos de partículas en una rítmica danza de creación y destrucción. La ilustración anterior muestra un magnífico grabado de esta danza de la energía que se tomó por accidente cuando una inesperada

lluvia de rayos cósmicos golpeó la cámara de burbujas en el CERN (Centro Europeo de Investigaciones Nucleares), durante un experimento.

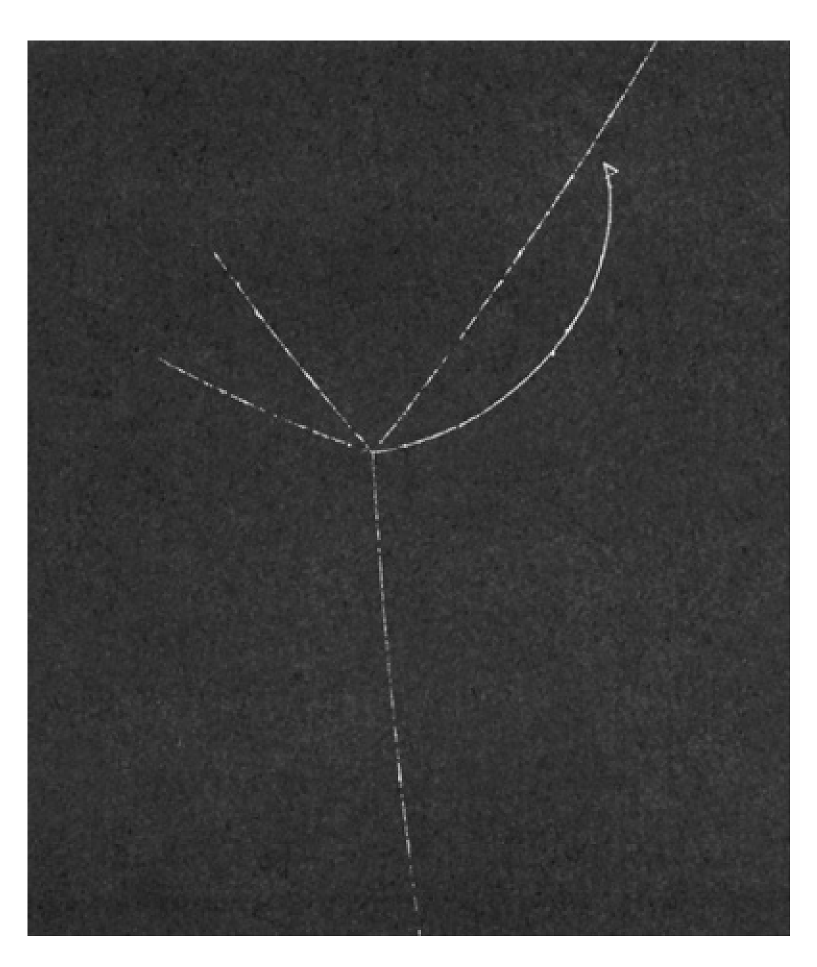
Los procesos de creación y destrucción que tienen lugar en el mundo de las partículas no son solo estos que pueden fotografiarse en la cámara de burbujas, sino también la creación y destrucción de partículas virtuales que resultan intercambiadas en las interacciones entre partículas y que no viven el tiempo suficiente para que podamos observarlas. Tomemos, por ejemplo, la creación de dos piones en una colisión entre un protón y un antiprotón. Un diagrama de espacio-tiempo de este suceso sería algo parecido a esto (recuerda que la dirección del tiempo en estos diagramas es de abajo hacia arriba):

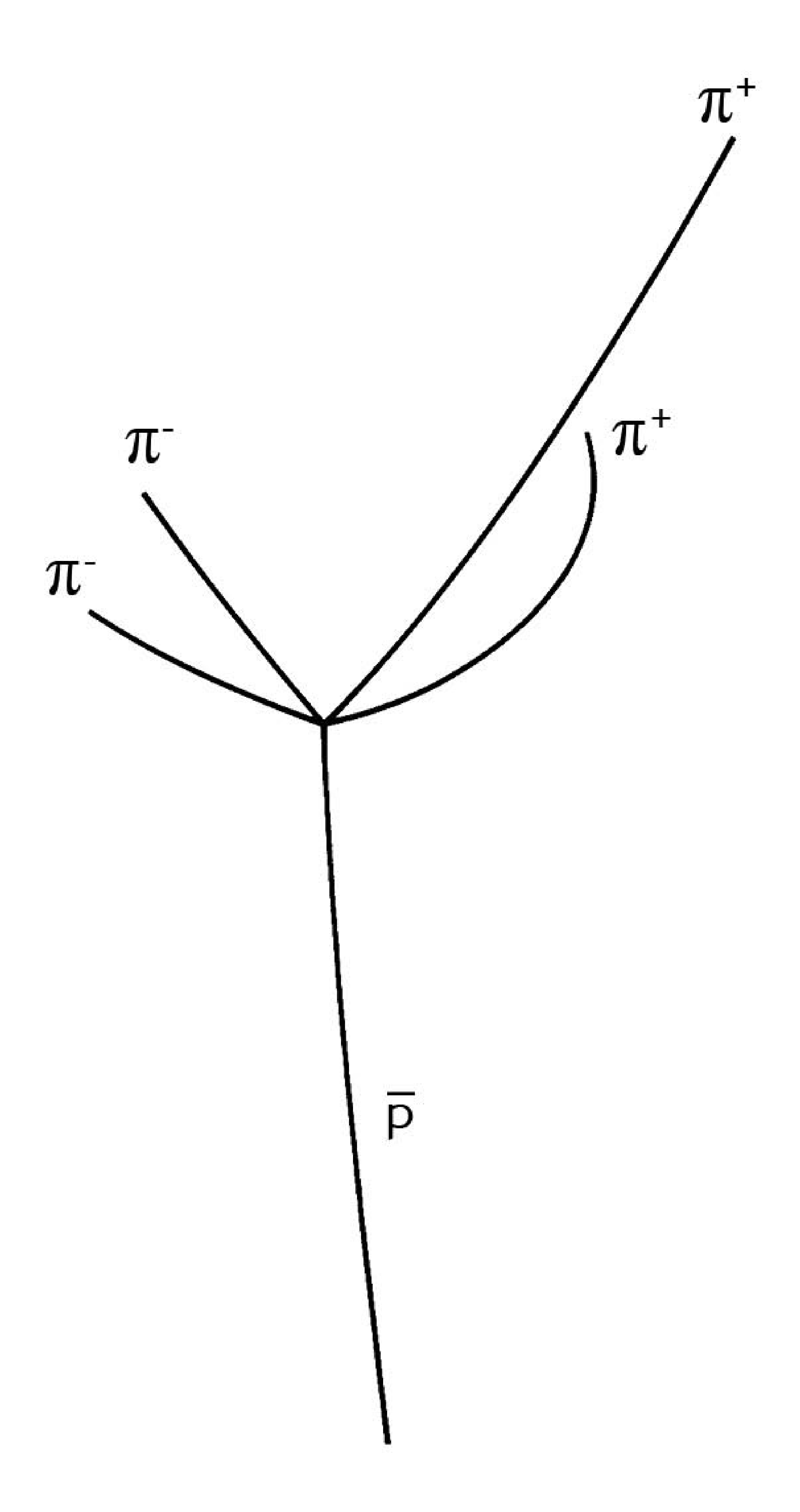


Este diagrama muestra las líneas del mundo del protón (p) y del antiprotón (p-) que colisionan en un punto del espacio y del tiempo, aniquilándose uno a otro y creando dos piones (p^+ y p-). No obstante, no da una representación completa. La interacción entre el protón y el antiprotón puede representarse como el intercambio de un neutrón virtual, como nos muestra el siguiente diagrama:



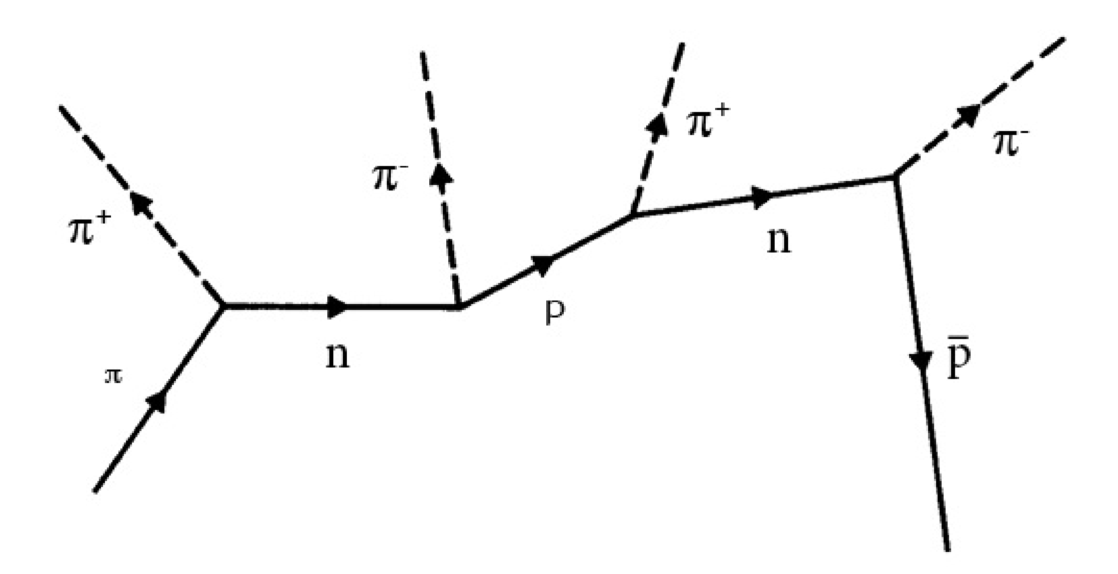
De un modo similar, el proceso mostrado en la siguiente fotografía, donde se crean cuatro piones en una colisión protón-antiprotón, puede representarse como un proceso de intercambio más complicado que generaría la creación y la destrucción de tres partículas virtuales: dos neutrones y un protón.



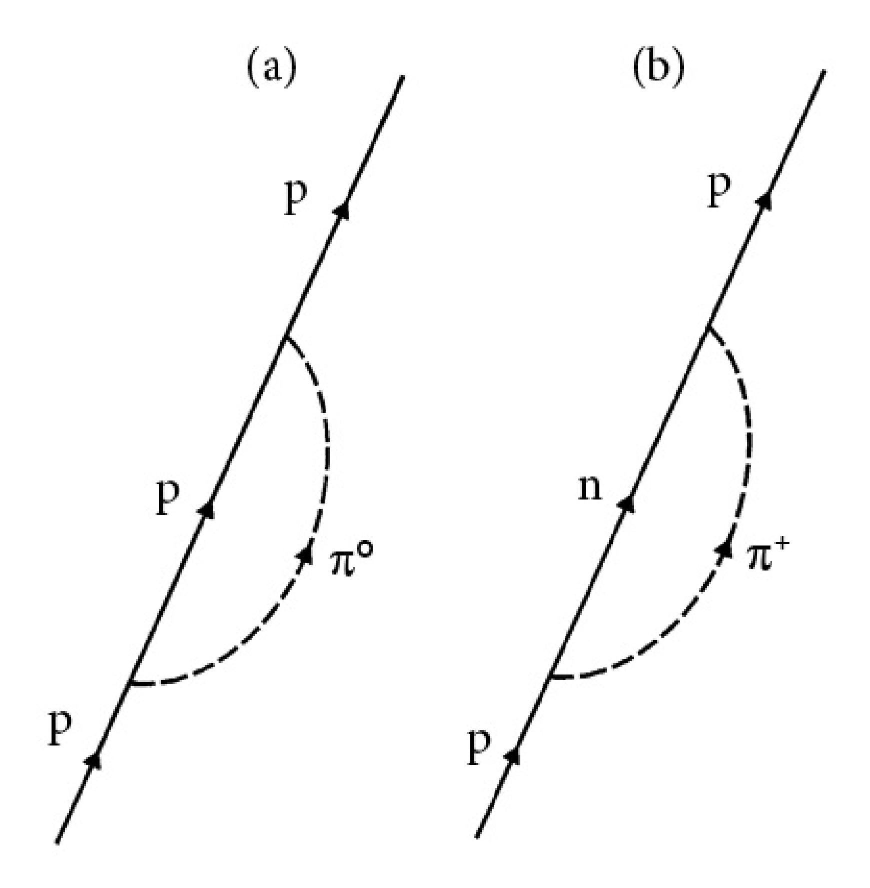


π^+
π^-
π^+
π^-
$\bar{p}$

El correspondiente diagrama de Feynman sería así[*4]:

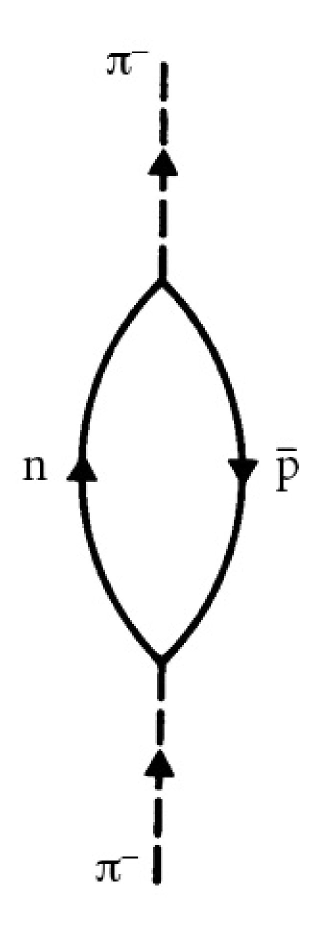


Estos ejemplos ilustran que las figuras de la cámara de burbujas solo dan una representación muy burda de las interacciones que tienen lugar entre las partículas. Los procesos reales implican redes mucho más complicadas de intercambios. La situación se hace infinitamente más compleja si recordamos que cada una de las partículas implicadas en las interacciones emite y reabsorbe incesantemente partículas virtuales. Un protón, por ejemplo, emitirá y reabsorberá un pion neutro de vez en cuando; otras veces puede emitir un p^+ y convertirse en un neutrón que absorberá el p^+ tras un corto espacio de tiempo, transformándose de nuevo en el protón. En los diagramas de Feynman las líneas del protón en estos casos habrán de reeemplazarse por los diagramas siguientes:



Diagramas de Feynman que muestran un protón que emite y reabsorbe piones virtuales

En estos procesos virtuales, la partícula inicial puede desaparecer completamente durante un breve período de tiempo, como en el diagrama (b). Un pion negativo, por tomar otro ejemplo, puede crear un neutrón (*n*) más un antiprotón (p-) que se aniquilen mutuamente para restablecer el pion original:

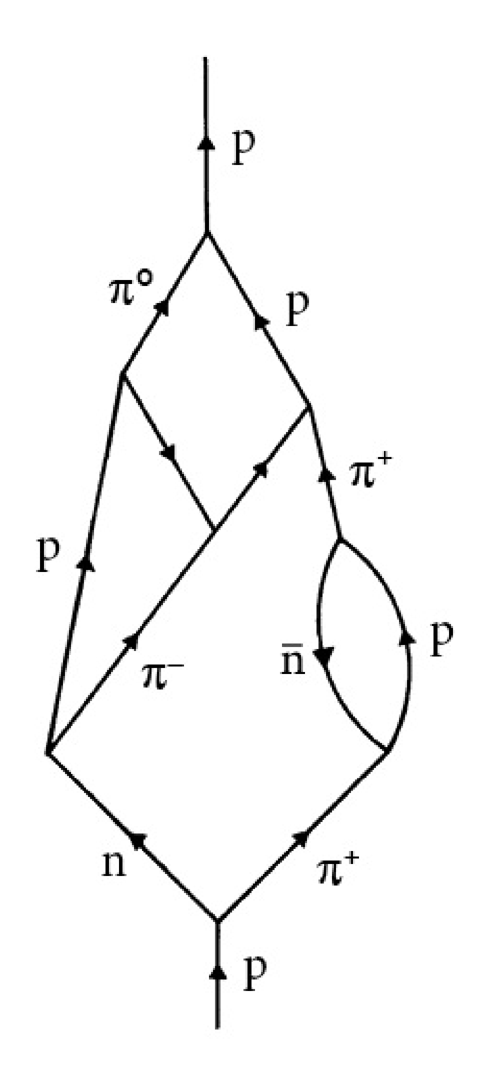


Creación de un par virtual neutrón-antiprotón

Es importante notar que todos estos procesos siguen las leyes de la teoría cuántica y, por tanto, son tendencias o probabilidades más que realidades. Cada protón existe potencialmente, es decir, con una cierta probabilidad, como un protón más un p^{o} o como un neutrón más un p^{+} y también de muchos otros modos. Los ejemplos antes mostrados son solo los procesos virtuales más sencillos. Modelos mucho más complicados surgen cuando las partículas virtuales crean otras partículas virtuales, generando así toda una red de interacciones virtuales[*5]. En su libro *The World of Elementary Particles*, Kenneth Ford construye un complicado ejemplo de semejante red, que involucra la creación y la destrucción de once partículas virtuales, y hace el siguiente comentario: «El diagrama representa una secuencia de sucesos, de aspecto bastante horrendo, pero perfectamente reales. Cada protón, ocasionalmente, pasa por esta danza de creación y destrucción[1]».

Ford no es el único físico que emplea frases tales como «la danza de la creación y de la destrucción» o «la danza de la energía». Estas ideas de ritmo y danza vienen naturalmente a la mente cuando uno trata de imaginar el flujo

de energía que atraviesan los esquemas que componen el mundo de las partículas. La física moderna nos ha demostrado que tanto el movimiento como el ritmo son propiedades esenciales de la materia; que toda la materia, ya sea en la Tierra o en el espacio exterior, está en una danza cósmica continua.



Una red de interacciones virtuales, de la obra citada de K. Ford.

Los místicos orientales tienen una visión dinámica del universo similar a la de los físicos modernos; así, no es de extrañar que también hayan utilizado la imagen de la danza para comunicar su intuición de la naturaleza. Un hermoso ejemplo de esta imagen de ritmo y danza nos la da Alexandra David-Neel en su libro *Viaje al Tíbet*, donde escribe cómo conoció a un lama, quien se llamaba a sí mismo «maestro del sonido», que le contó el siguiente relato de su visión de la materia:

> Todas las cosas […] son agrupaciones de átomos que danzan y con sus movimientos producen sonidos. Cuando el ritmo de la danza cambia, el sonido producido también cambia […]. Cada átomo canta perpetuamente su canción, y el sonido, en cada momento, crea formas densas y sutiles[2].

La similitud de este concepto con el de la física moderna es particularmente sorprendente si recordamos que el sonido es una onda con una cierta frecuencia que cambia cuando cambia el sonido, y que las partículas, el equivalente moderno del antiguo concepto de los átomos, son también ondas con frecuencias proporcionales a sus energías. Según la teoría del campo, cada partícula realmente «canta perpetuamente su canción», produciendo patrones rítmicos de energía (las partículas virtuales) en «formas densas y sutiles».

Esta metáfora de la danza cósmica tiene su más profunda y hermosa expresión en el hinduismo, en la imagen del dios danzante Shiva. Entre sus muchas encarnaciones, Shiva, uno de los más antiguos y más populares dioses hindúes, aparece como el Rey de los Danzantes. Según la creencia hindú, toda vida es parte de un gran proceso rítmico de creación y destrucción, de muerte y renacimiento, y la danza de Shiva simboliza este eterno ritmo de vida y muerte que continúa en ciclos sin fin. En palabras de Ananda Coomaraswamy:

> En la noche de Brahman, la naturaleza está inerte, y no puede danzar hasta que Shiva lo desea: Él sale de Su éxtasis y danzando envía a través de la materia inerte ondas pulsantes de sonido despertador, y ¡ya!, la materia también comienza a danzar, apareciendo como un círculo de gloria a Su alrededor. Con su danza, sostiene sus múltiples fenómenos. Cuando el tiempo se completa, todavía danzando, destruye Él todas las formas y nombres mediante el fuego y confiere un nuevo descanso. Esto es poesía, pero no por ello deja de ser ciencia[3].



Shiva Nataraja. Bronce brahmánico del sur de la India. Siglo XXII

La danza de Shiva simboliza no solo los cielos cósmicos de creación y destrucción, sino también el ritmo diario de nacimiento y muerte, considerado en el misticismo hindú la base de toda existencia. Al mismo tiempo, Shiva nos recuerda que las múltiples formas del mundo son *maya* —no fundamentales, sino ilusorias y siempre cambiantes— mientras continúa creándolas y disolviéndolas en el incesante flujo de su danza. Como lo ha expresado Heinrich Zimmer:

> Sus gestos espontáneos y llenos de gracia precipitan la ilusión cósmica; sus brazos y piernas al viento y su torso balanceándose producen —y realmente lo son en sí mismos— la continua creación-destrucción del universo, con la muerte equilibrando al nacimiento, la aniquilación equilibrando a toda creación**[4]**.

Los artistas hindúes de los siglos X y XI representaron la danza cósmica de Shiva en magníficas esculturas danzantes de bronce, con cuatro brazos, cuyos gestos equilibrados, y sin embargo dinámicos, expresan el ritmo y la unidad de la vida. Los diversos significados de esta danza son transmitidos mediante los detalles de las figuras en una compleja alegoría pictórica. La mano derecha superior del dios sostiene un tambor para simbolizar el sonido principal de la creación, mientras que la mano izquierda superior sostiene una lengua de fuego, elemento de la destrucción. El equilibrio de las dos manos representa el dinámico equilibrio entre la creación y la destrucción del mundo, equilibrio que se ve acentuado por la expresión calmada e imparcial del rostro del danzante, en el centro de las dos manos y donde la polaridad de la creación y la destrucción se disuelve y se trasciende. La segunda mano derecha se levanta con el signo de «no tener miedo», simbolizando conservación, protección y paz, mientras que la otra mano izquierda señala el pie levantado, que simboliza la liberación del encanto de *maya*. El dios se representa bailando sobre el cuerpo de un demonio, símbolo de la ignorancia humana que ha de ser conquistado antes de alcanzar la liberación.

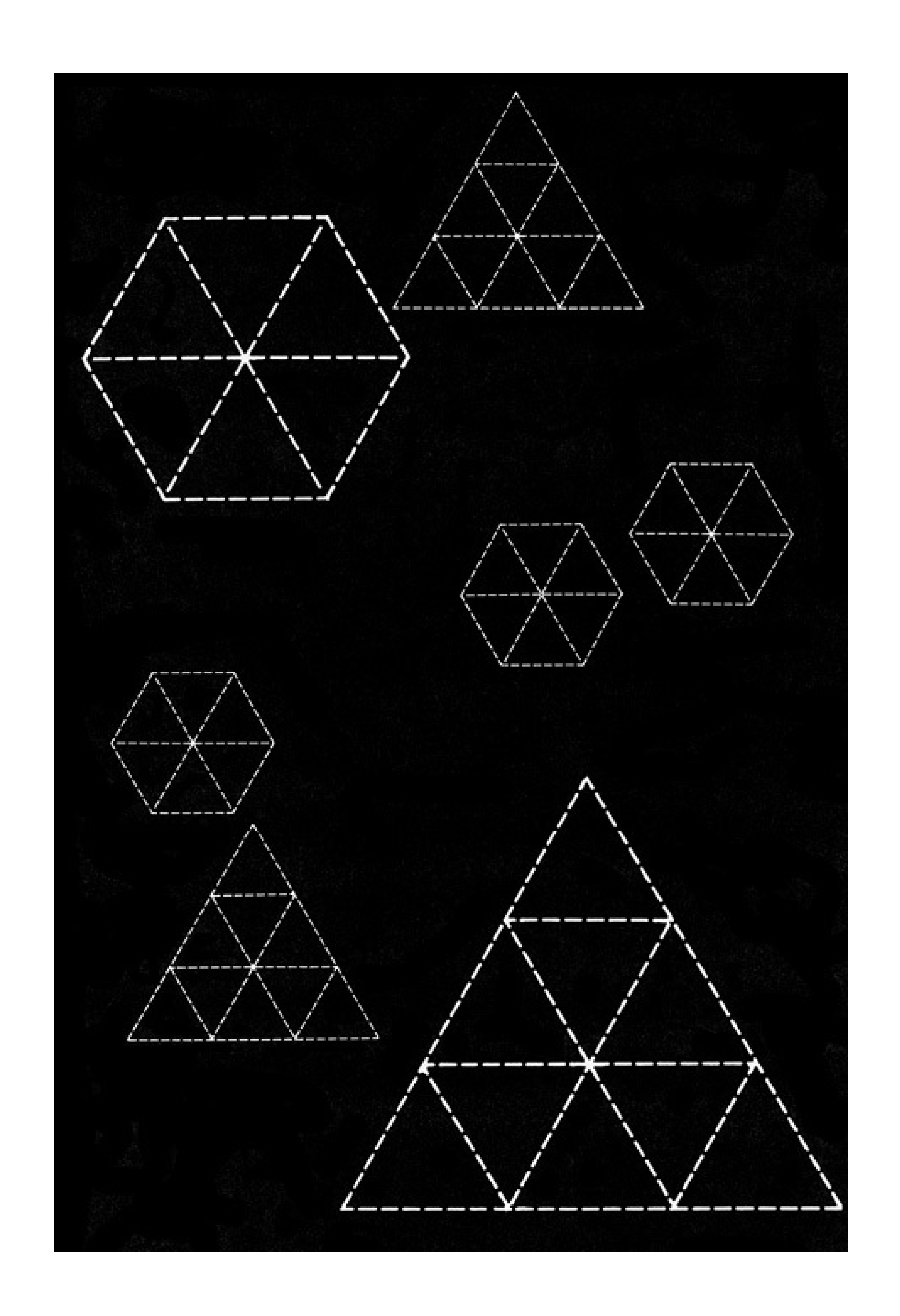
La danza de Shiva —en palabras de Coomaraswamy— es «la más clara imagen de la actividad de Dios, de la que cualquier arte o religión pueda presumir[5]». Como el dios es una personificación de *Brahman*, su actividad es la actividad de la miríada de manifestaciones de *Brahman* en el mundo. La danza de Shiva es la danza del universo; el incesante flujo de energía que pasa por una infinita variedad de modelos que se funden unos con otros.

La física moderna ha demostrado que el ritmo de la creación y la destrucción no solo se hace manifiesto en la sucesión de las estaciones y en el nacimiento y la muerte de todas las criaturas vivas, sino que es también la misma esencia de la materia inorgánica. Según la teoría cuántica del campo, todas las interacciones entre los componentes de la materia tienen lugar a través de la emisión y absorción de partículas virtuales. Incluso la danza de la creación y la destrucción es la base de la existencia misma de la materia, dado que todas las partículas materiales interactúan entre sí y consigo mismas, emitiendo y reabsorbiendo partículas virtuales. La física moderna ha revelado que toda partícula subatómica no solo realiza una danza de energía, sino que al mismo tiempo *es en sí misma* una danza de energía, un proceso pulsante de creación y destrucción.

Los esquemas de esta danza constituyen un aspecto esencial de la naturaleza de cada partícula y determinan muchas de sus propiedades. Por ejemplo, la energía utilizada en la emisión y absorción de partículas virtuales

es equivalente a una cierta cantidad de masa que contribuye a la masa de la partícula que autointeractúa. Partículas diferentes desarrollan distintos modelos en su danza, requiriendo diferentes cantidades de energía, y esa es la razón de que tengan diferentes masas. Las partículas virtuales, finalmente, no son solo una parte esencial de las interacciones llevadas a cabo por todas las partículas y de las propiedades de la mayor parte de ellas, sino que también son creadas y destruidas por el vacío. Así, no solo la materia, sino también el vacío participan en la danza cósmica, creando y destruyendo sin fin los modelos de energía.

Para los físicos modernos, la danza de Shiva es la danza de la materia subatómica. Al igual que en la mitología hindú, se trata de una danza continua de creación y destrucción que involucra a todo el cosmos. Es la base de toda existencia y de todos los fenómenos naturales. Hace cientos de años, los artistas hindúes crearon las imágenes visuales de Shiva danzando en unas hermosas esculturas de bronce. En nuestros días, los físicos utilizan la tecnología más avanzada para fotografiar los modelos de la danza cósmica. Las fotografías de la cámara de burbujas, que dan testimonio del continuo ritmo de creación y destrucción que tiene lugar en el universo, son imágenes visuales de la danza de Shiva, equivalentes en belleza y significado a las de los artistas hindúes. La metáfora de la danza cósmica, de este modo, unifica la antigua mitología, el arte religioso y la física moderna. Realmente, como dijo Coomaraswamy, es «poesía, pero no por ello deja de ser ciencia».



16

SIMETRÍAS DEL QUARK
¿Un nuevo koan?

El mundo subatómico es un mundo de ritmo, movimiento y cambio continuo. Sin embargo, no es en absoluto arbitrario y caótico, sino que sigue patrones muy claros y definidos. Para empezar, todas las partículas de una especie dada son completamente idénticas; tienen exactamente la misma masa, carga eléctrica y otras propiedades características. Además, todas las partículas cargadas transportan cargas eléctricas exactamente iguales (u opuestas) a la del electrón o cargas que son justo el doble de esa cantidad. Lo mismo puede decirse de otras cantidades que constituyen atributos característicos de las partículas: no tienen valores arbitrarios, sino que están sujetas a un número concreto. Esto nos permite ordenar las partículas dentro de unos cuantos grupos diferenciados o «familias». Así, llegamos a esta pregunta: ¿cómo surgen esos patrones tan definidos dentro del dinámico y siempre cambiante mundo de las partículas?

La existencia de modelos distintos en la estructura de la materia no es un fenómeno nuevo, sino que ya se observó en el mundo de los átomos. Al igual que las partículas subatómicas, los átomos de un tipo dado son completamente idénticos unos a otros y los diferentes tipos de átomos o de elementos químicos fueron ordenados dentro de varios grupos en la tabla periódica. Esta clasificación es ahora algo bien comprendido, que se basa en el número de protones y neutrones presentes en los núcleos atómicos y en la distribución de los electrones en órbitas esféricas o «cortezas» alrededor de los núcleos. Como ya dije con anterioridad, la naturaleza ondular de los electrones restringe la distancia de sus órbitas y también su rotación dentro de una órbita dada a unos pocos valores definidos, que dependerán de las vibraciones específicas de las ondas del electrón. Como consecuencia de ello, en la estructura atómica surgen patrones definidos que se caracterizan por un conjunto de «números cuánticos» enteros que reflejan los patrones de

vibración de las ondas del electrón en sus órbitas atómicas. Estas vibraciones determinan los «estados cuánticos» de un átomo y muestran que dos átomos cualesquiera serán completamente idénticos cuando ambos se hallen en su «estado básico» o en el mismo «estado de excitación».

Los esquemas o patrones del mundo de las partículas muestran grandes similitudes con los del mundo de los átomos. La mayoría de las partículas, por ejemplo, giran en torno a un eje como una peonza. Su rotación, o espín, está limitada a valores definidos, que son múltiplos enteros de alguna unidad básica. Así, los bariones pueden solo tener espines de 1/2, 3/2, 5/2, etc., mientras que los mesones tienen espines de 0, 1, 2, etc. Esto nos recuerda las rotaciones que, como sabemos, despliegan los electrones en sus órbitas atómicas, que están también restringidas a valores definidos especificados por números enteros.

Su analogía con los patrones atómicos se ve reforzada por el hecho de que todas las partículas de interacción fuerte (hadrones) parecen pertenecer a secuencias cuyos miembros presentan propiedades idénticas, en lo referente a sus masas y espines. Los primeros componentes de estas secuencias son partículas de una vida extremadamente corta, denominadas «resonancias», descubiertas en gran número durante la pasada década. Las masas y los espines de las resonancias aumentan de un modo bien definido dentro de cada secuencia, en una progresión que parece extenderse indefinidamente. Esta regularidad recuerda los estados de excitación de los átomos y ha llevado a los físicos a considerar a los miembros más elevados de una secuencia de hadrones no como partículas diferentes, sino como estados de excitación del hadrón con la masa más baja. Al igual que el átomo, el hadrón puede, por tanto, existir en varios estados de excitación de corta duración y alcanzar elevadas cantidades de rotación (o espín) y de energía (o masa).

Estas similitudes que se dan entre los estados cuánticos de los átomos y los hadrones sugieren que estos últimos, a su vez, son objetos compuestos de estructuras internas capaces de ser «excitadas», es decir, de absorber energía para así formar una cierta variedad de patrones. No obstante, en la actualidad todavía no hemos podido comprender cómo se forman estos patrones. En la física atómica, pueden explicarse en términos de propiedades e interacciones mutuas de los componentes del átomo (los protones, los neutrones y los electrones); sin embargo, en la física de las partículas tal explicación todavía no ha sido posible. Los patrones hallados en el mundo de las partículas se han determinado y clasificado de un modo puramente empírico y, sin embargo, no pueden deducirse de los detalles estructurales de las partículas.

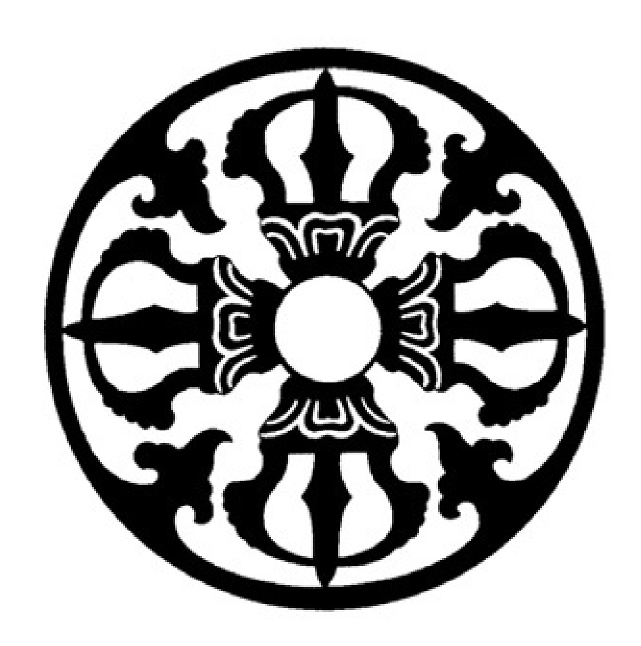
La dificultad esencial que los físicos de las partículas tienen que afrontar consiste en el hecho de que la noción clásica de «objeto» compuesto de un conjunto definido de «partes componentes» no puede aplicarse a las partículas subatómicas. La única forma de averiguar cuáles son los «componentes» de estas partículas es desintegrarlas bombardeándolas mediante procesos de colisión con altas energías. No obstante, al hacer esto los fragmentos resultantes nunca son «trozos más pequeños» que las partículas originales. Dos protones, por ejemplo, cuando colisionan a grandes velocidades pueden desintegrarse en una gran variedad de fragmentos, pero nunca darán «fracciones de protón». Los fragmentos serán siempre hadrones completos formados de las energías cinéticas y las masas de los protones colisionantes. La descomposición de una partícula en sus «componentes» está, pues, lejos de ser algo definitivo, dado que depende de la energía contenida en el proceso de colisión. Se trata de una situación totalmente relativista, en la que los patrones de energía dinámica son disueltos y reordenados, y donde el concepto estático de objetos compuestos y partes componentes no puede aplicarse. La «estructura» de una partícula subatómica puede entenderse solo en un sentido dinámico, en términos de procesos e interacciones.



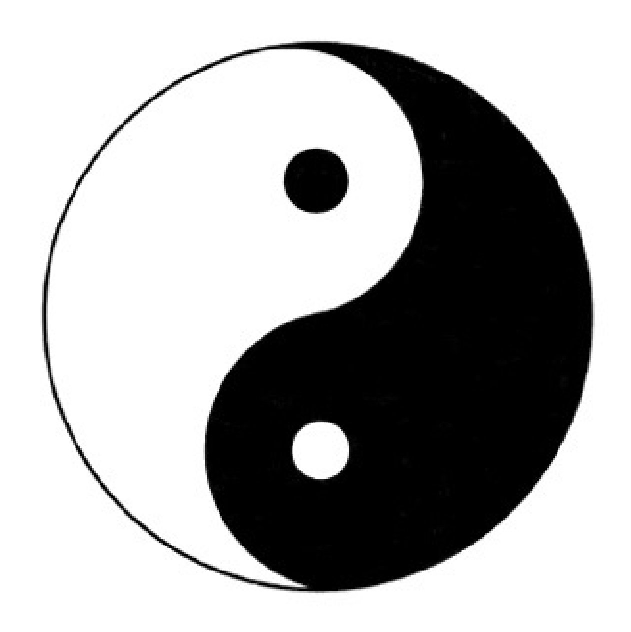
El modo en que las partículas se desintegran en fragmentos en los procesos de colisión está determinado por ciertas reglas, y puesto que los fragmentos son de nuevo partículas del mismo tipo, estas reglas pueden también emplearse para describir las regularidades observadas en esas partículas. En los años sesenta, cuando se descubrieron la mayor parte de las partículas actualmente

conocidas, la mayoría de los físicos —de un modo muy natural— concentraron sus esfuerzos en organizar las regularidades que surgían, más que en abordar el arduo problema de hallar las causas dinámicas de sus patrones. Y tuvieron éxito en dicha clasificación.

En esta investigación el concepto de simetría desempeñó un importante papel. Generalizando el concepto común de la simetría y dándole un significado más abstracto, los físicos pudieron desarrollarlo y hacer de él una poderosa herramienta que demostró ser extremadamente útil para la clasificación de las partículas. En la vida cotidiana, el caso más corriente de simetría es la reflexión en un espejo; se dice que una figura es simétrica cuando se puede trazar una línea a través de ella y dividirla así en dos partes que son imágenes reflejas exactas una de otra. Existen patrones con altos grados de simetría que permiten trazar varios ejes de simetría, como el siguiente dibujo utilizado en el simbolismo budista:



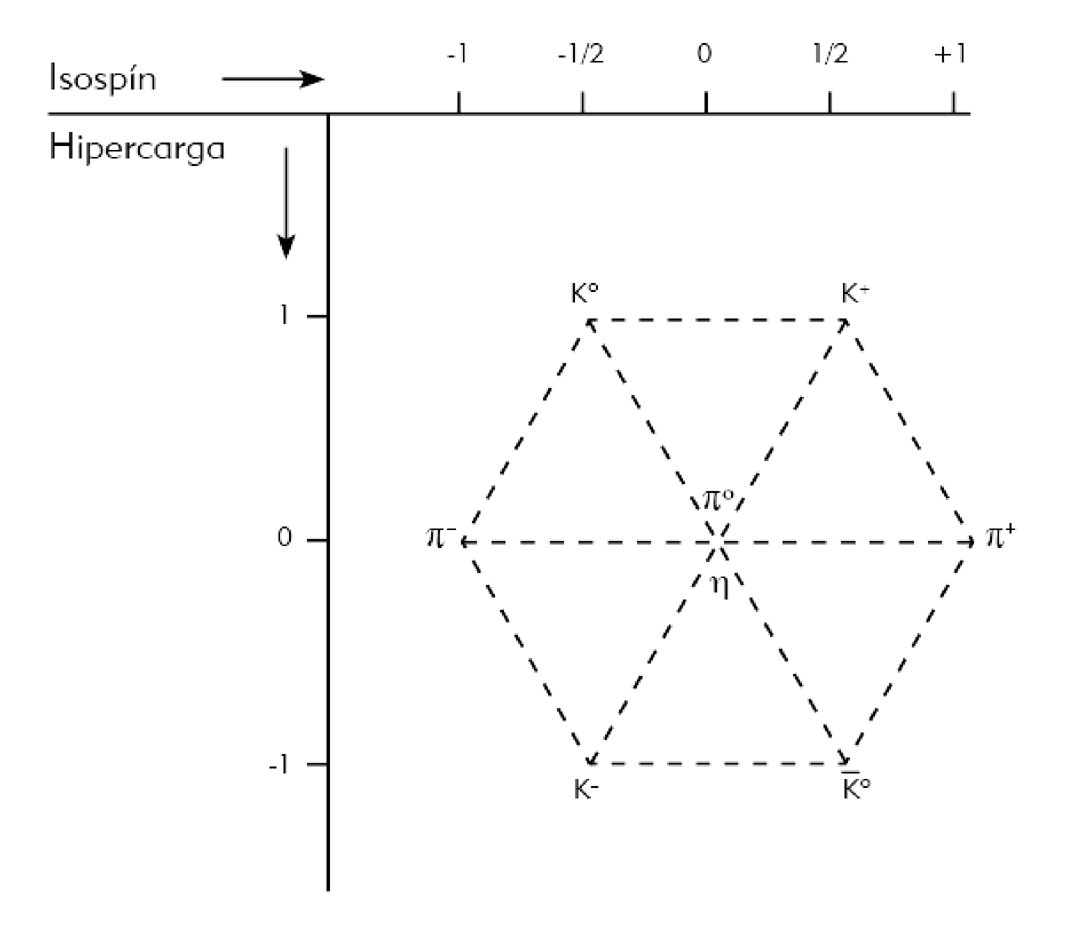
Sin embargo, la reflexión no es la única operación relacionada con la simetría. Se dice que una figura es también simétrica si después de haberla girado en un ángulo determinado sigue pareciendo la misma. La forma del diagrama chino yin-yang, por ejemplo, está basada en este tipo de simetría rotativo.



En la física de las partículas, las simetrías están asociadas con muchas otras operaciones además de las reflexiones y las rotaciones, y pueden tener lugar no solamente en el espacio (y el tiempo) ordinarios, sino también en espacios matemáticos abstractos. Se aplican a las partículas, o grupos de partículas, y dado que las propiedades de estas se hallan inseparablemente unidas a sus mutuas interacciones, las simetrías también se aplican a las interacciones, es decir, a los procesos en los que las partículas toman parte. La razón por la cual estas operaciones de simetría son tan útiles radica en el hecho de que están íntimamente relacionadas con las llamadas «leyes de conservación». Siempre que algún proceso en el mundo de las partículas manifiesta cierta simetría, existe una cantidad mensurable que «se conserva», cantidad que permanece constante durante el proceso. Estas cantidades proporcionan elementos constantes a la compleja danza de la materia subatómica; por ello son ideales para describir las interacciones entre las partículas. Algunas cantidades se conservan en todas las interacciones, otras solo en algunas de ellas; de este modo, todo proceso está asociado con un conjunto de cantidades conservadas. Así, las simetrías que se dan en las propiedades de las partículas aparecen como leyes de conservación en sus interacciones. Los físicos utilizan los dos conceptos de un modo intercambiable, refiriéndose unas veces a la simetría de un proceso y otras a la ley de conservación, según sea lo más conveniente en cada caso particular.

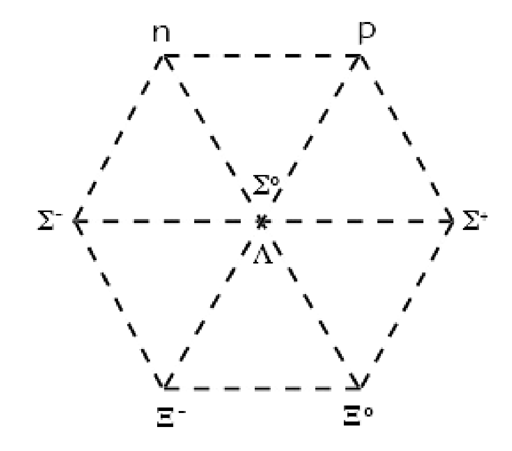
Hay cuatro leyes de conservación básicas que parecen observarse en todos los procesos, de las que tres están relacionadas con simples operaciones de simetría en el espacio y el tiempo ordinarios. Todas las interacciones entre partículas son simétricas con relación a sus desplazamientos en el espacio —

tendrán exactamente el mismo aspecto tanto si tienen lugar en Londres como en Nueva York—. También son simétricas con respecto a sus desplazamientos en el tiempo, es decir, ocurrirán de la misma forma un lunes que un miércoles. La primera de estas simetrías está relacionada con la conservación del momento; la segunda, con la conservación de la energía. Esto significa que el momento total de todas las partículas involucradas en una interacción y su energía total (incluyendo todas sus masas) serán exactamente los mismos antes que después de la interacción. La tercera simetría básica se da con respecto a la orientación en el espacio. En una colisión de partículas, por ejemplo, no hay gran diferencia si las partículas colisionantes se aproximan una a la otra en un eje orientado norte-sur o este-oeste. Como consecuencia de esta simetría, la cantidad total de rotación implicada en un proceso (que incluye los espines de las partículas individuales) se conserva siempre. Finalmente, está la conservación de la carga eléctrica. Aquí el funcionamiento de la simetría es más complicado, pero en su formulación como ley de conservación es muy simple: la carga total transportada por todas las partículas contenidas en una interacción permanece siempre constante.

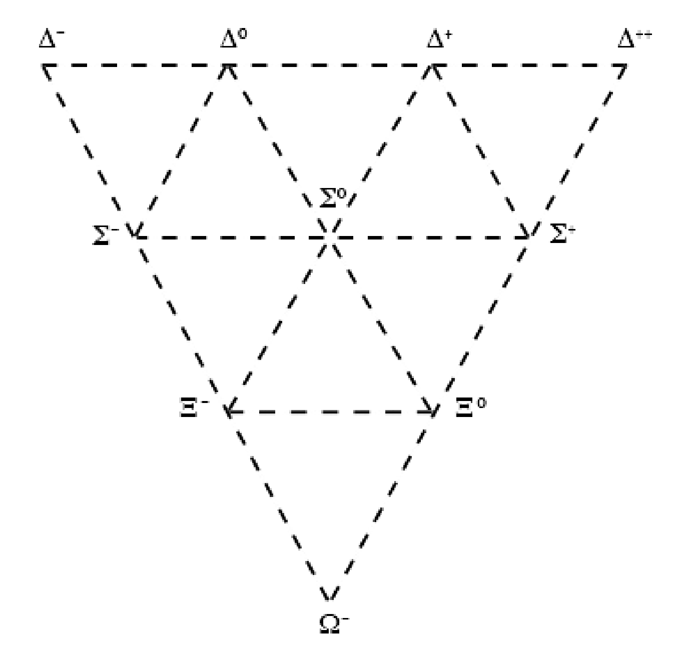


El octeto de mesón

Existen otras leyes de conservación que corresponden a las operaciones de simetría en los espacios matemáticos abstractos, como la relacionada con la conservación de la carga. Algunas de ellas son válidas para todas las interacciones, mientras que otras solo lo son para algunas de ellas (por ejemplo, para las interacciones fuertes y las débiles). Las cantidades conservadas pueden considerarse «cargas abstractas» que son transportadas por las partículas. Puesto que siempre toman valores de números enteros (±1, ±2, etc.) o valores «medio-enteros» (±1/2, ±3/2, ±5/2, etc.), se las denomina números cuánticos, por analogía con los números cuánticos de la física atómica. Cada partícula, pues, se caracteriza por un conjunto de números cuánticos que, además de su masa, especifican todas sus propiedades.



El octeto de barión



El decupleto de barión

Los hadrones, por ejemplo, tienen valores definidos de isospín e hipercarga, dos números cuánticos que se conservan en todas las interacciones fuertes. Si los ocho mesones relacionados en la tabla del capítulo anterior se ordenan según los valores de estos dos números cuánticos, se ve que conforman un limpio patrón hexagonal conocido como el «octeto de mesón». Esta ordenación muestra una gran simetría; por ejemplo, partículas y antipartículas ocupan lugares opuestos en el hexágono —las dos partículas del centro son sus propias antipartículas—. Los ocho bariones más ligeros forman exactamente el mismo patrón que se denomina el octeto de barión. En él, sin embargo, las antipartículas no están contenidas en el octeto, sino que forman

un «antiocteto» idéntico. El barión que resta de nuestra tabla de partículas, el omega, pertenece a un modelo diferente, denominado «decupleto de barión», junto con nueve resonancias. Todas las partículas de un modelo o patrón de simetría dado tienen números cuánticos idénticos, excepto para el isospín y la hipercarga que les son dados por sus lugares dentro del modelo. Por ejemplo, todos los mesones del octeto tienen espín 0 (es decir, no giran en absoluto), el espín de los bariones es de 1/2, y los del decupleto tienen un espín de 3/2.

De este modo, los números cuánticos se utilizan para ordenar las partículas en familias formando patrones simétricos bien proporcionados, para especificar los lugares de las partículas individuales dentro de cada modelo, y también para clasificar las diversas interacciones que se dan entre partículas según las leyes de conservación. Los dos conceptos relacionados, el de simetría y el de conservación, se consideran, pues, extremadamente útiles para expresar las regularidades que se dan en el mundo de las partículas.

Es sorprendente que la mayor parte de estas regularidades puedan representarse de un modo muy sencillo, simplemente suponiendo que todos los hadrones están hechos de un pequeño número de entidades elementales que hasta ahora han eludido la observación directa. Murray Gell-Mann, cuando postuló la existencia de estas entidades, les dio el fantasioso nombre de «quarks», tomado de una frase del libro *Finnegan's Wake*, de James Joyce. Gell-Mann logró explicar un gran número de patrones de hadrón, tales como los octetos y los decupletos de los que ya he hablado, asignando nombres cuánticos apropiados a sus tres quarks y sus antiquarks, y uniendo después estos «ladrillos básicos» en varias combinaciones a fin de formar bariones y mesones cuyos números cuánticos se obtienen simplemente sumando los de sus quarks constituyentes. En este sentido, puede decirse que los bariones se «componen» de tres quarks, sus antipartículas de los antiquarks correspondientes y los mesones de un quark y un antiquark.

La sencillez y la eficacia de este esquema son sorprendentes, pero genera serias dificultades si se toman los quarks como verdaderos componentes físicos de los hadrones. Hasta el momento, nunca se han desintegrado los hadrones en sus quarks constituyentes, a pesar de que se los ha bombardeado con las más elevadas energías, lo que significa que los quarks tendrían que mantenerse unidos por fuerzas de atracción verdaderamente imponentes. Según nuestra actual comprensión de las partículas y de sus interacciones, estas fuerzas deben envolver a otras partículas y los quarks deben consecuentemente mostrar alguna especie de «estructura», de la misma manera que todas las demás partículas que interactúan fuertemente. El

esquema del quark, no obstante, necesita que existan quarks sin estructura, como simples puntos. A causa de esta básica dificultad, hasta ahora no ha sido posible formular el esquema del quark de un modo dinámico y consistente que explique sus simetrías y sus fuerzas de unión.

Por el lado experimental, hasta ahora se ha dado una intensa, pero sin éxito «búsqueda del quark» durante años. Si los quarks existen, deben de ser bastante notables, pues el modelo de Gell-Mann requiere que posean unas propiedades no muy usuales, tales como cargas eléctricas de 1/3 y 2/3 de la que posee el electrón, cargas que no aparecen en ninguna parte del mundo de las partículas. Hasta el momento, no se ha observado ninguna partícula con estas propiedades a pesar de la más intensa búsqueda. Este persistente fracaso en su detección experimental, sumado a las serias objeciones teóricas que se han presentado a su existencia, han hecho que la realidad de los quarks se convierta en algo extremadamente dudoso.

Por otro lado, el esquema o modelo del quark continúa siendo muy eficaz para explicar las regularidades halladas en el mundo de las partículas, aunque ya no se emplee en su forma simple original. En el modelo original de Gell-Mann, todos los hadrones podían estar constituidos por tres clases de quarks y sus antiquarks; sin embargo, los físicos han tenido que postular quarks adicionales para poder explicar la gran variedad de patrones, esquemas o modelos de hadrón.

Los tres quarks originales fueron representados, muy arbitrariamente, por las letras *u*, *d* y *s* —de *up* (arriba), *down* (abajo) y *strange* (extraño)—. La primera extensión de este modelo, que surgió de la aplicación detallada de la hipótesis del quark al grueso de los datos de las partículas, fue el requisito de que cada quark tenía que aparecer en tres variedades diferentes, o catorce colores. El empleo del término *color* es, desde luego, un tanto arbitrario y nada tiene que ver con el significado corriente de esa palabra. Según el modelo o esquema del quark coloreado, los bariones se componen de tres quarks de diferente color, mientras que los mesones se componen de un quark más un antiquark del mismo color.

La introducción del color aumentó el número total de quarks a nueve, y más recientemente se postuló un quark adicional, que de nuevo aparecía en tres colores. Debido a la habitual inclinación de los físicos hacia los nombres caprichosos, este nuevo quark se denominó *c* —de *charm* (encanto)—. Esto elevó el número total de quarks a doce (cuatro clases, cada una de ellas en tres colores). Para distinguir las diferentes clases de quarks de los diferentes

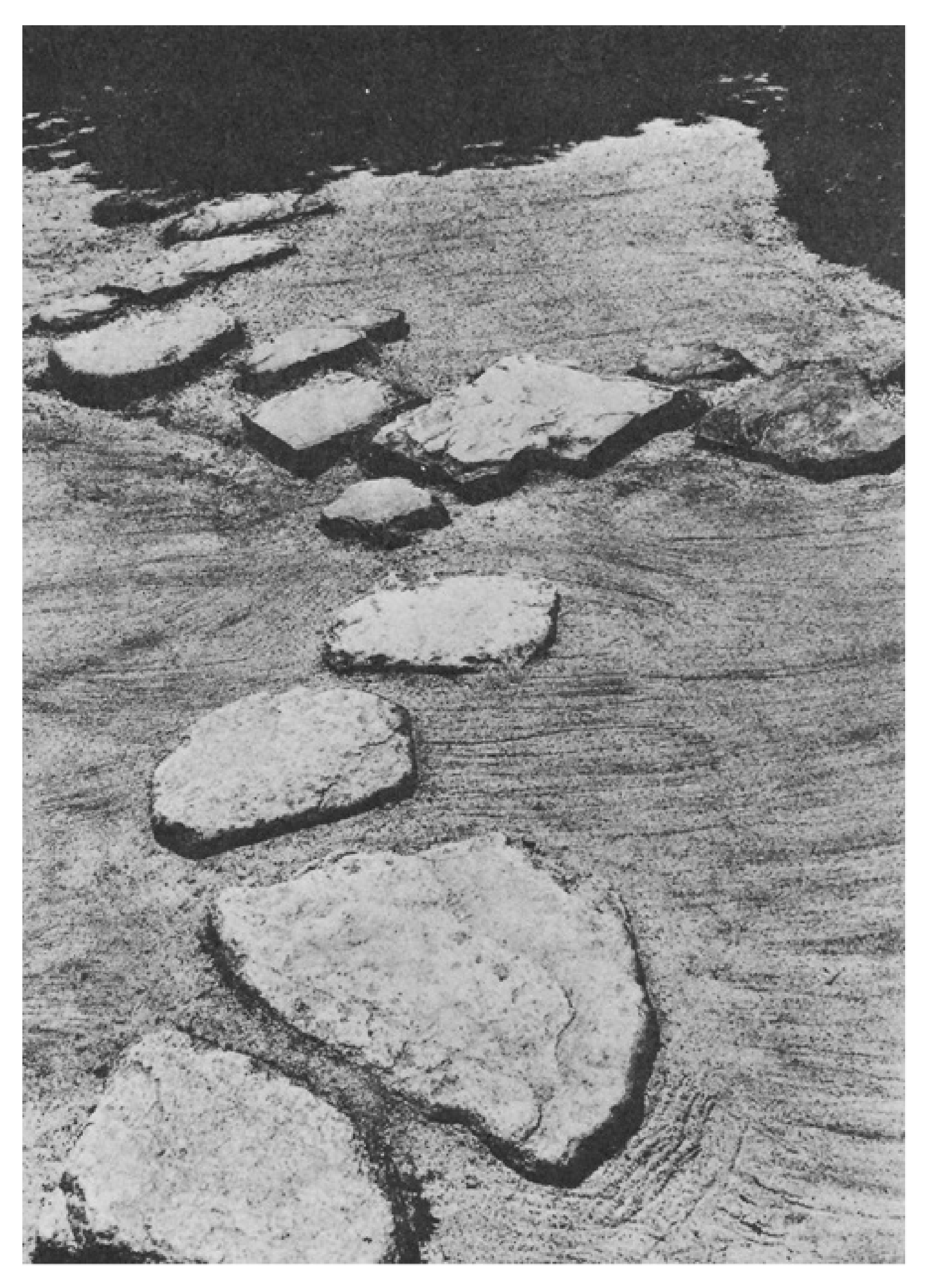
colores, los físicos no tardaron en introducir el término *sabor*, y ahora se habla de quarks de diferentes colores y sabores.

El gran número de regularidades que pueden describirse referidas a estos doce quarks es verdaderamente impresionante. No cabe ninguna duda de que los hadrones exhiben «simetrías de quark», e incluso aunque nuestra actual comprensión de las partículas y de sus interacciones excluye la existencia de quarks físicos, los hadrones a veces se comportan exactamente como si estuvieran compuestos de puntos elementales. Lo absurdo del modelo del quark recuerda mucho a los primeros tiempos de la física atómica cuando absurdos igualmente sorprendentes llevaron a los físicos a una mayor comprensión de las partículas subatómicas. El rompecabezas del quark tiene todos los rasgos de ser un nuevo *koan* que podría llevarnos a avanzar más en la comprensión de estas partículas. De hecho, este avance ya está en camino, como podremos ver en los siguientes capítulos. Un grupo de físicos está a punto de resolver el *koan* del quark y, cuando lo hagan, se verán abocados a nuevas y emocionantes ideas sobre la naturaleza de la realidad física.

El descubrimiento de patrones simétricos en el mundo de las partículas ha llevado a muchos físicos a creer que estos patrones reflejan las leyes fundamentales de la naturaleza. Durante los últimos quince años se han dedicado muchos esfuerzos a la búsqueda de una «simetría básica» y definitiva que incorpore todas las partículas conocidas y «explique» la estructura de la materia. Este deseo refleja una actitud filosófica heredada de los antiguos griegos y cultivada a lo largo de muchos siglos. La simetría, junto con la geometría, desempeñaba un importante papel en la ciencia, la filosofía y el arte griegos, donde se la identificaba con la belleza, la armonía y la perfección. De este modo los pitagóricos consideraban los patrones numerales simétricos como la esencia de todas las cosas, Platón creía que los átomos de los cuatro elementos tenían formas sólidas regulares y la mayoría de los astrónomos griegos pensaban que los cuerpos celestes se movían en círculos, porque el círculo era la figura geométrica con más alto grado de simetría.

La actitud de la filosofía oriental en relación con la simetría presenta un marcado contraste con la de los antiguos griegos. Las tradiciones místicas del Lejano Oriente emplean con frecuencia esquemas y modelos simétricos como símbolos o como mecanismos de meditación, pero el concepto de simetría no parece desempeñar un papel primordial en su filosofía. Al igual que la geometría, se cree que es una elaboración de la mente, más que una propiedad de la naturaleza y, por ello, carece de importancia fundamental. De acuerdo

con esto, muchas formas de arte orientales muestran una asombrosa predilección hacia la asimetría y con frecuencia evitan toda forma regular o geométrica. Las pinturas chinas y japonesas de inspiración zen, generalmente ejecutadas dentro del estilo denominado «de una esquina», o las irregulares alineaciones de losas en los jardines japoneses, ilustran claramente este aspecto de la cultura del Lejano Oriente.



Losas del palacio Katsura en Kioto (Japón).

Así, podría parecer que esta búsqueda de simetrías básicas en la física de las partículas es parte de nuestra herencia helénica, lo cual resulta incongruente

con la visión del mundo que empieza a emerger de la ciencia moderna. Este énfasis en la simetría, sin embargo, no constituye el único aspecto de la física de las partículas. Contrastando con el enfoque de la simetría «estática», siempre ha habido una escuela «dinámica» de pensamiento que no considera los modelos de partículas como características fundamentales de la naturaleza, sino que intenta entenderlos como una consecuencia de la naturaleza dinámica y de la interrelación esencial que tiene lugar en el mundo subatómico. Los dos capítulos restantes muestran cómo esta escuela de pensamiento ha dado origen, en años anteriores, a una visión radicalmente diferente de las simetrías y de las leyes de la naturaleza, visión que está en armonía con la idea del mundo sostenida por la física moderna según he descrito hasta aquí y que al mismo tiempo se encuentra en perfecto acuerdo con la filosofía oriental.



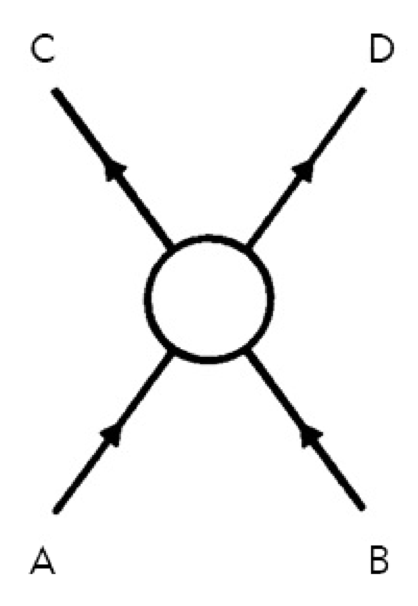
Pájaros en el lago, por Liang K’ai, dinastía Sung del Sur.

17

PATRONES DE CAMBIO

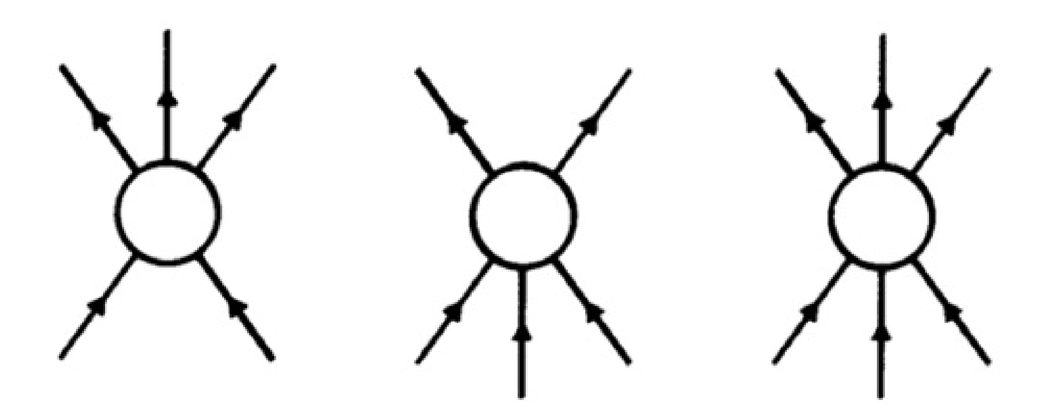
Explicar las simetrías del mundo de las partículas en términos de un modelo dinámico, es decir, que describa las interacciones que tienen lugar entre dichas partículas, es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la física actual. El problema es cómo tener en cuenta simultáneamente la teoría cuántica y la teoría de la relatividad. Los patrones seguidos por las partículas parecen reflejar su «naturaleza cuántica», dado que similares patrones se dan en el mundo de los átomos. Sin embargo, en la física de las partículas estos modelos no pueden explicarse como modelos de onda dentro del marco de la teoría cuántica, porque las energías contenidas son tan elevadas que sería necesario aplicar la teoría de la relatividad. Solo una teoría «cuántico-relativista» de las partículas podría, por ello, explicar las simetrías observadas.

La teoría del campo cuántico fue el primer modelo de este tipo. Dio una descripción excelente de las interacciones electromagnéticas entre los electrones y los fotones, pero resultó mucho menos apropiada para describir las partículas de fuerte interacción. Como cada vez era mayor el número de partículas descubiertas, los físicos pronto sintieron que resultaba altamente insatisfactorio asociar cada una de ellas con un campo básico, y cuando el mundo de las partículas se reveló como una creciente y compleja telaraña de procesos interrelacionados, tuvieron que buscar otros modelos para representar esta realidad dinámica y siempre cambiante. Lo que se necesitaba era un formulismo matemático que fuera capaz de describir de un modo dinámico la gran variedad de modelos de hadrones y su continua transformación unos en otros, su interacción mutua mediante el intercambio de otras partículas, la formación de «situaciones de unión» de dos o más hadrones y su conversión en diversas combinaciones de partículas. Todos estos procesos, a los que a veces se da el nombre genérico de «reacciones entre partículas», son rasgos esenciales de las interacciones fuertes y necesitan ser explicados mediante un modelo cuántico-relativista.

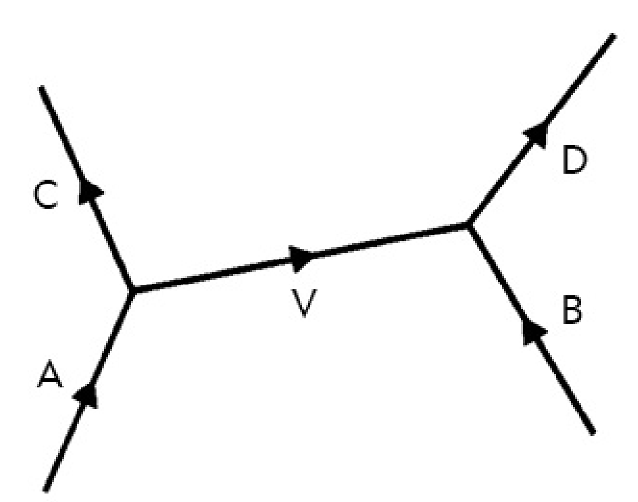


El esquema que parece más apropiado para esta descripción de los hadrones y sus interacciones se denomina «teoría de la matriz-S». Su concepto clave, la «matriz-S», la propuso en principio por Heisenberg en 1932 y ha sido muy desarrollado durante los años posteriores, dentro de una compleja estructura matemática que parece muy adecuada para describir las interacciones fuertes. La matriz-S es una colección de probabilidades que incluyen todas las posibles reacciones en las que intervienen hadrones. Su nombre deriva del hecho de que es posible imaginar todo el conjunto de reacciones posibles de los hadrones, ordenadas dentro de una impresionante serie infinita del tipo que los matemáticos llaman matriz. La letra S es lo que quedó del nombre original *scattering matrix* o matriz de dispersión, que se refiere a los procesos de colisión —o «dispersión»—, que constituyen la inmensa mayoría de las reacciones entre partículas.

En la práctica, nadie se interesa jamás por toda la serie de los posibles procesos de dispersión, sino solo por unas pocas reacciones específicas. Por tanto, nunca se trata con la totalidad de la matriz-S, sino solo con aquellas de sus partes o «elementos» que se refieran a los procesos que se van a considerar. Estos se representan simbólicamente por medio de diagramas como el anterior, que nos muestra una de las reacciones entre partículas más simple y más generalizada: dos partículas, A y B, sufren una colisión y emergen como dos partículas diferentes, C y D. Otros procesos más complicados involucran un número mayor de partículas y se representan con diagramas como estos:



Es necesario señalar que estos diagramas de matriz-S son muy diferentes de los diagramas de la teoría del campo de Feynman. No representan el mecanismo detallado de la reacción, sino que meramente especifican las partículas iniciales y las finales. El proceso mencionado A + B → C + D, por ejemplo, podría representarse en la teoría del campo como el intercambio de una partícula virtual «V», mientras que en la teoría de la matriz-S, sencillamente se traza un círculo sin especificar lo que sucede dentro de él. Además, los diagramas de matriz-S no son diagramas espacio-temporales, sino simples representaciones simbólicas mucho más generales. En este caso no se tienen en cuenta los puntos definidos del espacio y del tiempo en los que estas reacciones tienen lugar, sino que simplemente se describen en términos de las velocidades (o más concretamente en términos de los momentos) de las partículas entrantes y salientes.



Esto significa que un diagrama de matriz-S contendrá mucha menos información que un diagrama de Feynman. Por otro lado, la teoría de la matriz-S evita una dificultad que es típica en la teoría del campo. Los efectos combinados de la teoría cuántica y de la teoría de la relatividad hacen

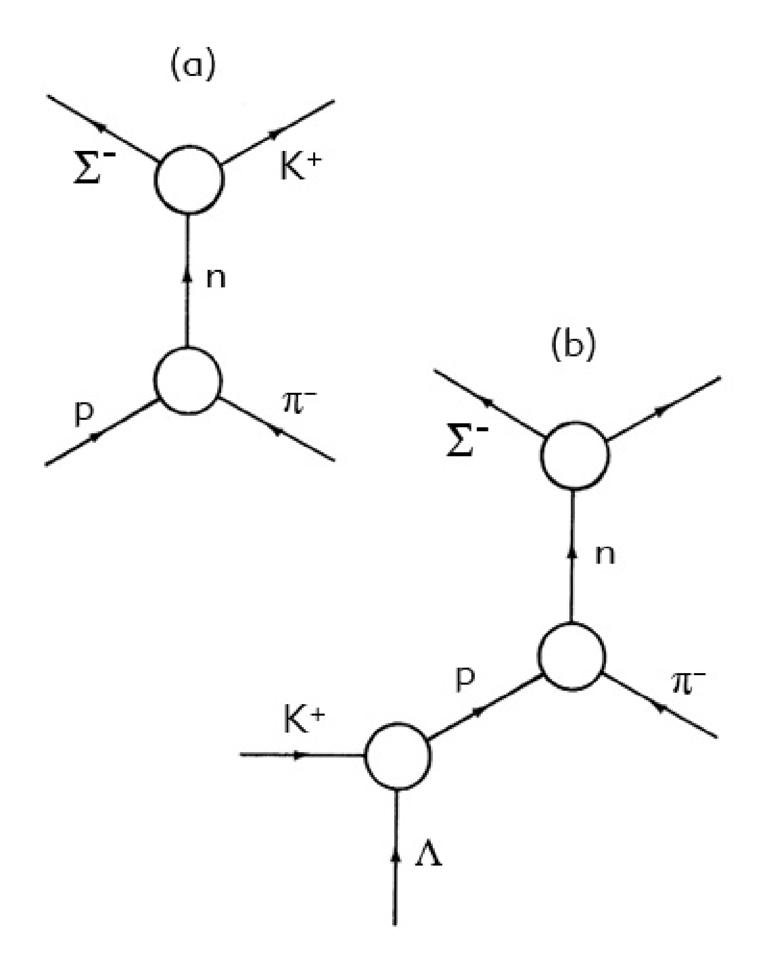
imposible localizar con precisión una interacción entre las partículas. Debido al principio de incertidumbre, la indefinición de la velocidad de una partícula aumentará a medida que su zona de interacción se localice de un modo más definido y, por ello, la cantidad de su energía cinética será cada vez más incierta. Finalmente, esta energía será lo suficientemente grande como para la creación de nuevas partículas, de acuerdo con la teoría de la relatividad, y después ya no podremos estar seguros de que estamos tratando con la reacción original. Por tanto, en una teoría que combina las dos teorías, la cuántica y la de la relatividad, no es posible especificar con precisión la posición de las partículas. Si se hiciera así, como en la teoría del campo, tendríamos que tolerar las incongruencias matemáticas que constituyen el principal problema de todas las teorías del campo cuántico. La teoría de la matriz-S supera este problema especificando los momentos de las partículas pero permaneciendo lo suficientemente vaga en cuanto a la zona en la cual tiene lugar la reacción.

Lo importante y nuevo de la teoría de la matriz-S es el cambio de énfasis, que pasa de los objetos a los sucesos; su interés no recae en las partículas, sino en sus reacciones. Tal cambio de los objetos a los sucesos es necesario tanto por parte de la teoría de la relatividad como de la teoría cuántica. Por un lado, la teoría cuántica ha dejado claro que una partícula subatómica solo puede entenderse como una manifestación de la interacción entre varios procesos de medición. No es un objeto aislado, sino más bien un acontecimiento, un suceso, que se interrelaciona con otros sucesos de un modo particular. En palabras de Heisenberg:

> [En la física moderna] hemos dividido el mundo no en diferentes grupos de objetos, sino en grupos distintos de conexiones […]. Lo que podemos distinguir es el tipo de conexión más importante para un cierto fenómeno […]. De este modo el mundo aparece como una complicada telaraña de sucesos, donde conexiones de diferentes especies se alternan, se trasladan o se combinan, determinando así la textura de la totalidad[1].

La teoría de la relatividad, por otro lado, nos ha obligado a concebir las partículas en términos espaciotemporales, es decir, como modelos cuatridimensionales, como procesos más que como objetos. El enfoque de la matriz-S combina estos dos puntos de vista. Usando el conjunto de fórmulas matemáticas cuatridimensional de la teoría de la relatividad, describe todas las

propiedades de los hadrones en términos de reacciones (o más concretamente, en términos de probabilidades de reacción), estableciendo así un lazo íntimo entre las partículas y los procesos. Cada reacción incluye partículas que la unen a otras reacciones, edificando de este modo toda una red de procesos.



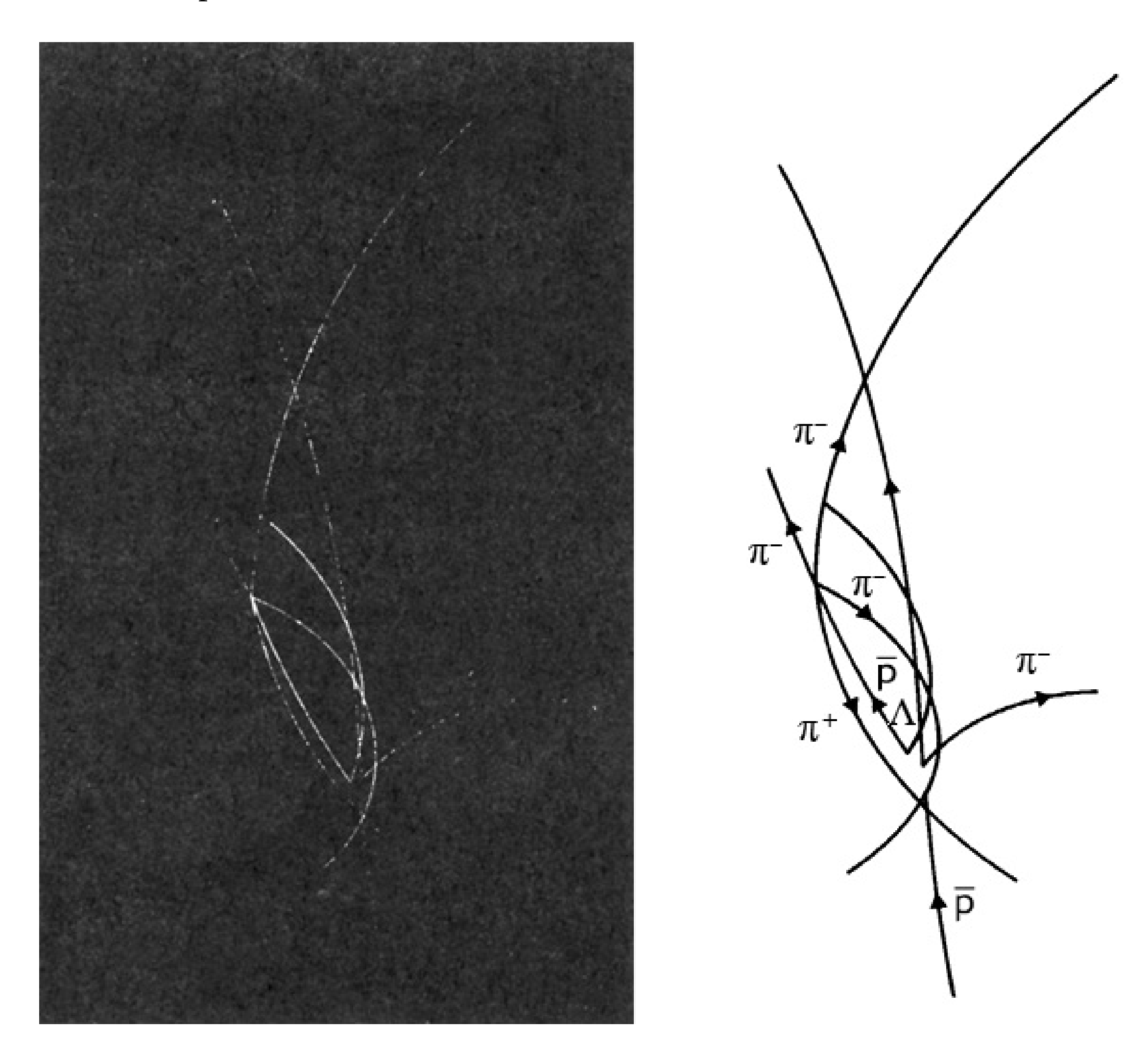
Un neutrón, por ejemplo, puede participar en dos reacciones sucesivas en las que intervienen partículas diferentes: en la primera, por ejemplo, un protón y un p- y en la segunda, un S- y un K^+. El neutrón, así, interrelaciona estas dos reacciones y las integra dentro de un proceso mayor (ver el diagrama a). Cada una de las partículas iniciales y finales de este proceso participará en otras reacciones; el protón, por ejemplo, puede salir de una interacción entre un K^+ y un Λ; el K^+ de la reacción original puede unirse a un K- y un pº, y el p-, a tres piones más (ver el diagrama b).

Así, el neutrón original se considera parte de toda una red de interacciones, parte de un «entramado de sucesos», todos descritos mediante la matriz-S. Las interrelaciones de ese entramado no se pueden determinar con seguridad, pero están asociadas con las probabilidades. Cada reacción ocurre con alguna probabilidad, que dependerá de la energía disponible y de

las características de la reacción, y estas probabilidades vienen dadas por los diversos elementos de la matriz-S.

Este enfoque permite definir la estructura de un hadrón de una manera totalmente dinámica. El neutrón de nuestra red, por ejemplo, puede verse como una «situación de unión» del protón y del p- del cual surge, y también como una situación de unión del S- y el K^+ en la que se desintegra. Cualquiera de estas combinaciones de hadrones y también muchas otras podrán formar un neutrón y en consecuencia puede decirse que son componentes de la «estructura» del neutrón. La estructura del hadrón, de este modo, no se entiende como una ordenación definida de sus partes constituyentes, sino que viene dada por todos los conjuntos de partículas que puedan influenciarse entre sí para formar un hadrón. De este modo un protón existe potencialmente como un par neutrón-pion, un par kaón-lambda, y así sucesivamente. El protón también tiene el potencial de desintegrarse en cualquiera de estas combinaciones de partículas siempre que haya suficiente energía disponible. Las tendencias a existir de un hadrón en sus diversas manifestaciones se expresarán mediante las probabilidades que existan para

que se den las reacciones correspondientes, las cuales pueden considerarse todas ellas aspectos de la estructura interna del hadrón.

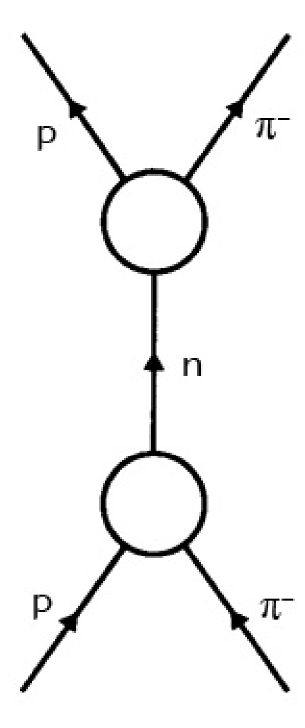


Red de reacciones que involucra protones, antiprotones, un par lambda-antilambda y varios piones

Al definir la estructura de un hadrón como su tendencia a experimentar varias reacciones, la teoría de la matriz-S confiere a la noción de estructura una connotación esencialmente dinámica. Al mismo tiempo, esta noción de estructura está en perfecto acuerdo con los hechos experimentales. Siempre que los hadrones se desintegran en los experimentos de colisión de alta energía, lo hacen formando combinaciones de otros hadrones; así, puede decirse que potencialmente «se componen» de estas combinaciones de hadrones. Cada una de las partículas que se originan en tal colisión sufrirá, a su vez, varias reacciones, construyendo de este modo toda una red de sucesos

que pueden fotografiarse en la cámara de burbujas. La figura anterior y las del capítulo 15 son ejemplos de tales redes de reacciones.

Aunque la red que surgirá en un experimento particular es algo que depende totalmente del azar, cada red se encuentra estructurada, no obstante, según unas reglas definidas. Estas reglas son las leyes de conservación antes citadas. Solo podrán ocurrir aquellas reacciones en las que se conserve un conjunto bien definido de números cuánticos. Para empezar, la energía total tiene que permanecer constante en toda reacción. Esto significa que una cierta combinación de partículas puede emerger de una reacción solo si la energía aportada a la reacción es lo suficientemente elevada como para proporcionar las masas necesarias. Además, el grupo saliente de partículas deberá en su conjunto tener exactamente los mismos números cuánticos que fueron aportados a la reacción por las partículas iniciales. Por ejemplo, un protón y un p- con una carga eléctrica total de 0 pueden disolverse en una colisión y volver a agruparse para emerger como un neutrón más un pº, pero no podrán emerger como un neutrón y un p^+, dado que este par llevaría una carga total de +1.



De este modo, las reacciones entre los hadrones representan un flujo de energía en el cual se crean y se disuelven partículas, pero esta energía solo puede fluir a través de determinados «canales», caracterizados por los números cuánticos que se conservan en las interacciones fuertes. En la teoría de la matriz-S, el concepto de canal de reacción es más básico que el de

partícula. Se define como un conjunto de números cuánticos que pueden transportar varias combinaciones de hadrones y a veces también un solo hadrón. La combinación de hadrones que fluye a través de un canal particular es cuestión de probabilidad, pero depende, ante todo, de la energía disponible. El diagrama anterior, por ejemplo, muestra una interacción entre un protón y un p- en la cual se forma un neutrón como estado intermedio. De este modo, el canal de reacción es constituido primero por dos hadrones, después por un solo hadrón y finalmente por el par de hadrones inicial. El mismo canal podría construirse, si hubiera suficiente energía, por un par Λ-K^{o}, por un par S--K^{+} y también por otras combinaciones diversas.

El concepto de canal de reacción resulta especialmente apropiado para tratar con las resonancias: estados del hadrón de muy corta vida, típicos en todas las interacciones fuertes. Se trata de fenómenos tan efímeros que los físicos en un principio se mostraron poco dispuestos a clasificarlos como partículas, e incluso hoy en día la identificación de sus propiedades constituye todavía una de las mayores tareas de la física experimental de alta energía. Las resonancias se forman en las colisiones entre hadrones y se desintegran casi inmediatamente. No son visibles en la cámara de burbujas, pero se las puede detectar debido a un comportamiento muy especial de las probabilidades de reacción. La probabilidad de que dos hadrones que colisionan emprendan una reacción —interactúen mutuamente— dependerá de la energía que intervenga en la colisión. Si se modifica la cantidad de energía, variará también la probabilidad; puede aumentar o disminuir, dependiendo de los detalles de la reacción. Para ciertos valores de energía, sin embargo, se observa que la probabilidad de la reacción aumenta considerablemente, es decir, que la reacción tiene más probabilidades de ocurrir con estos valores que con cualquier otra cantidad de energía. Este notable aumento de la probabilidad está relacionado con la formación de un hadrón intermedio de corta vida, cuya masa es la correspondiente a la energía con la cual se observa el incremento.

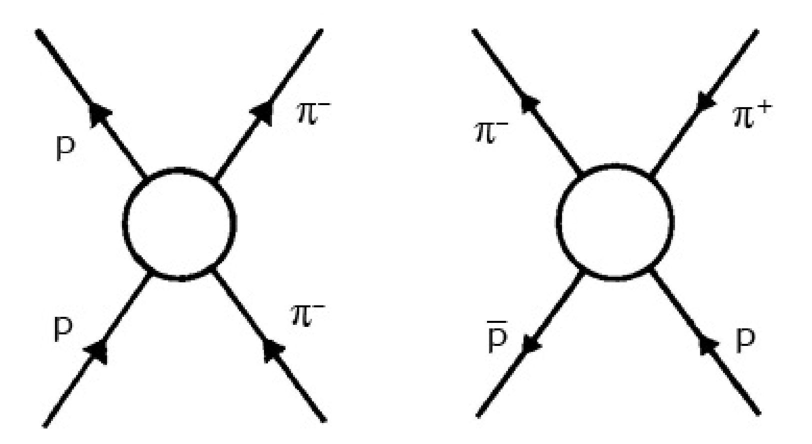
El motivo por el cual estos hadrones de corta vida son llamados resonancias tiene que ver con una analogía que se da con el bien conocido fenómeno de la resonancia vibratoria. En el caso del sonido, por ejemplo, el aire contenido dentro de una cavidad responderá débilmente a una onda de sonido que venga del exterior, pero comenzará a «resonar» o a vibrar fuertemente cuando dicho sonido (u onda) alcance una cierta frecuencia, denominada frecuencia de resonancia. El canal de una reacción de hadrones puede compararse con dicha cavidad resonante, puesto que la energía de los

hadrones colisionantes está en relación con la frecuencia de onda de la probabilidad correspondiente. Cuando esta energía, o frecuencia, alcanza un valor determinado, el canal empieza a resonar; las vibraciones de la onda de probabilidad súbitamente se hacen muy fuertes y de este modo provocan un aumento considerable de la probabilidad de reacción. La mayor parte de los canales de reacción tienen varias energías de resonancia, correspondiendo cada una de ellas a la masa de un efímero hadrón intermedio que se forma cuando la energía de las partículas colisionantes alcanza el citado valor de resonancia.

Dentro del marco de la teoría de la matriz-S, el problema de si a las resonancias debería llamárselas «partículas», o no, no existe. A todas las partículas se las considera estados intermedios de una red de reacciones, y el hecho de que las resonancias vivan durante períodos mucho más cortos que otros hadrones no tiene una importancia fundamental. De hecho, la palabra resonancia es un término apropiado. Se aplica al fenómeno del canal de reacción y al hadrón que se forma durante ese fenómeno, mostrando así el íntimo lazo de unión existente entre las partículas y sus reacciones. Una resonancia es una partícula, pero no un objeto. Queda mucho mejor descrita como un suceso o un acontecimiento.

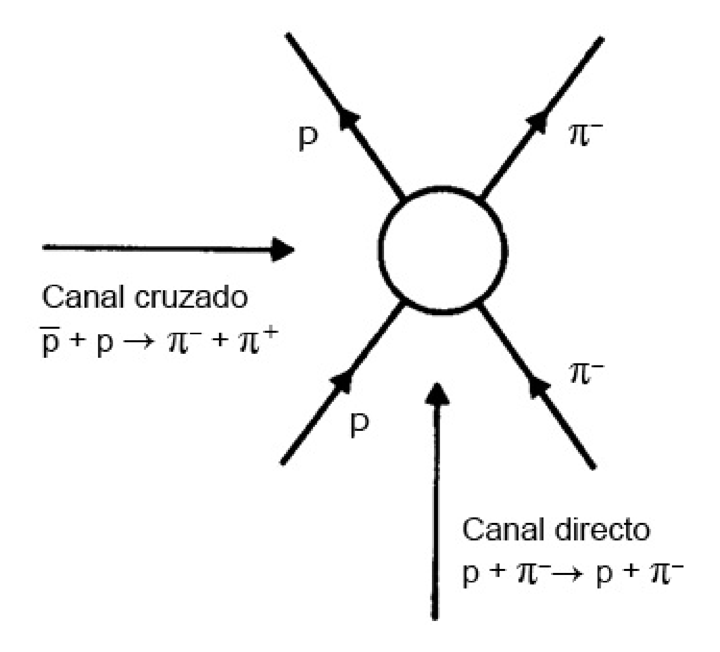
La descripción que se hace de los hadrones en la física de las partículas recuerda un poco las palabras de D. T. Suzuki ya citadas anteriormente: «Cualquier objeto es concebido por los budistas como un suceso y no como una cosa o una sustancia». Lo mismo que los budistas captaron mediante su experiencia mística de la naturaleza está ahora redescubriéndose por medio de los experimentos y las teorías matemáticas de la ciencia moderna.

Para describir todos los hadrones como estados intermedios de una red de reacciones, es necesario tener en cuenta las fuerzas mediante las cuales se influyen mutuamente. Las que desvían o «dispersan» a los hadrones colisionantes, los disuelven y los reordenan en modelos diferentes, agrupando algunos de ellos para formar situaciones de unión intermedias, son las llamadas fuerzas de interacción fuerte. En la teoría de la matriz-S, al igual que en la teoría del campo, las fuerzas de interacción están asociadas con las partículas, pero el concepto de partículas virtuales no se emplea. En su lugar, la relación entre fuerzas y partículas se basa en una propiedad especial de la matriz-S conocida como «cruce». Para ilustrar esta propiedad, consideremos que el diagrama siguiente representa la interacción entre un protón y un p-:

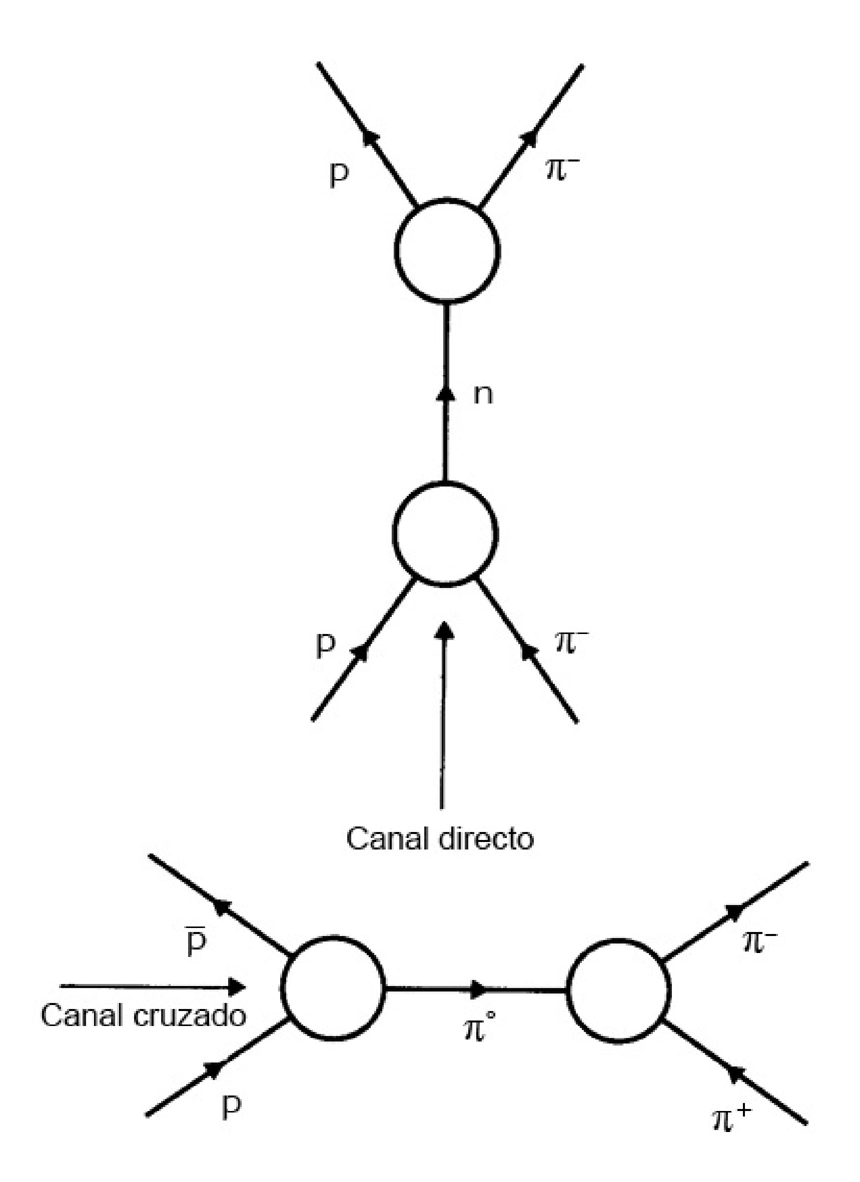


Si girásemos este diagrama 90 grados conservando el acuerdo adoptado en el capítulo 12 según el cual las flechas que señalan hacia abajo indican antipartículas, el nuevo diagrama representará una reacción entre un antiprotón (p) y un protón ($\bar{P}$), de la que surgirá un par de piones —p^+ es la antipartícula del (p-)— de la reacción original.

La propiedad de «cruce» de la matriz-S se refiere al hecho de que estos dos procesos se describen mediante los mismos elementos de matriz-S. Esto significa que los dos diagramas no representan sino dos aspectos diferentes o dos «canales» de la misma reacción[*1]. Los físicos de las partículas están habituados a cambiar de un canal a otro en sus cálculos, y en lugar de girar los diagramas, tan solo los leen de abajo arriba o de izquierda a derecha y hablan del «canal directo» y del «canal cruzado». De esta manera la reacción de nuestro ejemplo se lee así: p + p- → p + p- en el canal directo, y $\bar{P}$ + p → p- + p^+ en el canal cruzado.



La conexión entre fuerzas y partículas se establece mediante los estados intermedios de los dos canales. En el canal directo de nuestro ejemplo, el protón y el p- pueden formar un neutrón intermedio, mientras que el canal cruzado puede construirse mediante un pion neutro intermedio (pº). Este pion —el estado intermedio del canal cruzado— se interpreta como la manifestación de la fuerza que actúa en el canal directo uniendo el protón y el p- para formar el neutrón. De este modo, los dos canales son necesarios para asociar las fuerzas con las partículas. Lo que en un canal aparece como una fuerza se manifiesta como una partícula intermedia en el otro.



Aunque matemáticamente es relativamente fácil cambiar de un canal a otro, resulta en extremo difícil —si es que es posible— lograr una representación intuitiva de esta situación. Esto es debido a que el «cruce» es un concepto esencialmente relativista que surge en el contexto del formulismo cuatridimensional de la teoría de la relatividad y, por lo tanto, resulta muy difícil de visualizar. Similar situación se da en la teoría del campo, donde las fuerzas de interacción están representadas como un intercambio de partículas virtuales. De hecho, el diagrama que muestra el pion intermedio en el canal cruzado recuerda mucho a los diagramas de Feynman que representan estos intercambios[*2] de partículas, y podría decirse que el protón y el p- interactúan a través del intercambio de un pº. Los físicos se expresan con frecuencia de este modo, pero esta forma de expresión no describe la situación en su totalidad. Una descripción adecuada solo podrá darse en

términos de los canales directo y cruzado, es decir, en conceptos abstractos cuya visualización resulta casi imposible.

A pesar de su diferente conjunto de fórmulas, la noción general de fuerza de interacción utilizada en la teoría de la matriz-S es bastante similar a la que se usa en la teoría del campo. En ambas teorías, las fuerzas se manifiestan como partículas cuyas masas determinan el alcance de la fuerza, y en ambas teorías se las reconoce como propiedades intrínsecas de las partículas que interactúan: en la teoría del campo reflejan la estructura de las nubes de partículas y en la de la matriz-S son generadas por situaciones de unión de las partículas que interactúan.

El paralelismo existente con la idea oriental de las fuerzas mencionado anteriormente sigue vigente, por lo tanto, en ambas teorías. Este punto de vista sobre las fuerzas de interacción nos lleva además a la importante conclusión de que todas las partículas conocidas deben tener algún tipo de estructura interna, pues solo entonces podrán relacionarse con el observador y de este modo ser detectadas. En palabras de Geoffrey Chew, uno de los principales constructores de la teoría de la matriz-S, «una partícula verdaderamente elemental —desprovista absolutamente de estructura interna — no podría estar sujeta a unas fuerzas que nos permitiesen detectar su existencia. El simple conocimiento de la existencia de una partícula implica que la partícula posee estructura interna[2]».

Una ventaja del formulismo de la matriz-S es el hecho de que permite describir el «intercambio» de toda una familia de hadrones. Como afirmé en el capítulo anterior, todos los hadrones parecen pertenecer a secuencias cuyos miembros tienen propiedades idénticas, excepto en lo referente a sus masas y sus espines. El formulismo propuesto inicialmente por Tullio Regge hace posible tratar cada una de estas secuencias como un solo hadrón, en varios estados de excitación. En años recientes, ha sido posible incorporar el formulismo de Regge al marco de la matriz-S y se ha empleado con mucho éxito para describir las reacciones de los hadrones. Este ha sido uno de los progresos más importantes acaecidos en la teoría de la matriz-S y puede considerarse como un primer paso hacia una explicación dinámica de los patrones de las partículas.

De este modo, el marco de la matriz-S es capaz de describir la estructura de los hadrones, las fuerzas mediante las que se influencian mutuamente y algunos de los patrones que forman, de una manera totalmente dinámica, en la cual cada hadrón es entendido como una parte integral de una inseparable red de reacciones. El gran reto de la teoría de la matriz-S es emplear esta

descripción dinámica para explicar las simetrías que dan origen a los modelos de hadrones y a las leyes de conservación comentadas en el capítulo anterior. En dicha teoría, las simetrías de los hadrones serían reflejadas en la estructura matemática de la matriz-S de modo que contendría solamente los elementos que correspondan a las reacciones permitidas por las leyes de conservación. Así, estas leyes no tendrían ya la categoría de regularidades empíricas, sino que pasarían a ser una consecuencia de la estructura de la matriz-S y, por tanto, una consecuencia de la naturaleza dinámica de los hadrones.

En la actualidad, los físicos están tratando de lograr este ambicioso propósito postulando varios principios generales que restringen las posibilidades matemáticas de construir los elementos de la matriz-S, dándole así a la propia matriz-S una estructura más definida. Hasta la fecha, tres de estos principios generales ya se han establecido. El primero fue sugerido por la teoría de la relatividad y por nuestra experiencia macroscópica del espacio y el tiempo. Dice que las probabilidades de reacción (es decir, los elementos de la matriz-S) deben ser independientes de los desplazamientos del aparato experimental en el espacio y en el tiempo, independientes de su orientación en el espacio e independientes del movimiento del observador. Como ya comenté en el capítulo anterior, la independencia de la reacción de una partícula de sus cambios de orientación y desplazamiento en el espacio y en el tiempo implica la conservación de las cantidades totales de rotación, momento y energía que intervienen en la reacción. Estas «simetrías» son esenciales para nuestro trabajo científico. Si los resultados de un experimento cambiasen dependiendo de dónde y cuándo fuese realizado, la ciencia en su forma actual sería imposible. Este último requisito —que los resultados no deben depender del movimiento del observador— es el principio de relatividad que constituye la base de la propia teoría de la relatividad.

El segundo principio general viene sugerido por la teoría cuántica. Afirma que el resultado de una reacción particular solo podrá predecirse en función de sus probabilidades y, además, que la suma de las probabilidades de todos los posibles resultados —incluyendo el caso de ausencia de interacciones entre las partículas— debe ser igual a 1. En otras palabras, podemos estar seguros de que las partículas o bien interactuarán unas con otras o no interactuarán. Esta afirmación, aparentemente simplista, resulta de hecho un poderoso principio, conocido como «principio unitario» y que restringe seriamente las posibilidades de construir los elementos de la matriz-S.

El principio tercero y último está relacionado con nuestros conceptos de causa y efecto y es conocido como el «principio de causalidad». Afirma que

la energía y el momento son transferidos a distancias espaciales únicamente por las partículas, y que esta transferencia ocurre de tal modo que una partícula puede crearse en una reacción y destruirse en otra solo si la última reacción se produce después de la primera. La formulación matemática del principio de causalidad implica que la matriz-S depende de las energías y los momentos de las partículas que intervienen en una reacción, excepto cuando los valores involucrados hacen posible la creación de nuevas partículas. Con tales valores, la estructura matemática de la matriz-S cambia bruscamente, hallando lo que los matemáticos denominan una «singularidad». Cada canal de reacción contiene varias de estas singularidades, es decir, en cada canal existen varios valores de energía y de momento en los que pueden crearse nuevas partículas. Las «energías de resonancia» antes citadas son ejemplos de estos valores.

El hecho de que la matriz-S presente singularidades es consecuencia del principio de causalidad, pero la localización de las singularidades no es determinada por él. Los valores de energía y de momento en los que pueden crearse ciertas partículas son diferentes en los distintos canales de reacción y dependen de las masas y de otras propiedades de las partículas creadas. La localización de las singularidades reflejará las propiedades de tales partículas, y dado que todos los hadrones se pueden crear en reacciones entre partículas, las singularidades de la matriz-S reflejan todos los patrones y simetrías de los hadrones.

La principal finalidad de la teoría de la matriz-S es, por lo tanto, deducir de los principios generales la estructura de las singularidades de la matriz-S. Hasta ahora, no ha sido posible construir un modelo matemático que satisfaga los tres principios. Puede ocurrir que sean suficientes para determinar todas las propiedades de la matriz-S y, por lo tanto, todas las propiedades de los hadrones[*3]. Si resultara ser este el caso, las implicaciones filosóficas de dicha teoría serían muy profundas. Los tres principios generales están relacionados con los métodos de observación y medición, es decir, con el marco científico. Si resultan suficientes para determinar la estructura de los hadrones, eso significaría que las estructuras básicas del mundo físico se encuentran determinadas, finalmente, por la manera en que nosotros las observamos. Cualquier cambio fundamental que tenga lugar en nuestros métodos de observación implicaría una modificación de los principios generales, que nos conduciría a una estructura diferente de la matriz-S y, por lo tanto, implicaría una estructura diferente en los hadrones.

Una teoría de este tipo sobre las partículas subatómicas reflejará la imposibilidad de separar al observador de los fenómenos observados, lo que ya comenté con referencia a la teoría cuántica, en su forma más extrema. Significa que las estructuras y los fenómenos que observamos en la naturaleza no son más que creaciones de nuestra mente medidora y categorizante.

Este es uno de los dogmas fundamentales de la filosofía oriental. Los místicos orientales nos dicen una y otra vez que todas las cosas y sucesos que percibimos son solo creaciones de la mente, que surgen de un estado particular de conciencia y se disuelven una vez trascendido ese estado. El hinduismo sostiene que todas las formas y estructuras que nos rodean son creadas por la mente bajo el hechizo de *maya* y considera que nuestra tendencia a concederles un significado profundo es consecuencia de la ilusión humana. Los budistas llaman a esta ilusión *avidya* o ignorancia y la ven como el estado de una mente «sucia». En palabras de Ashvaghosha:

> Cuando la unidad de la totalidad de las cosas no es reconocida, surge la ignorancia y la particularización, y de este modo se desarrollan todas las fases de la mente contaminada. Todos los fenómenos del mundo no son nada más que una manifestación ilusoria de la mente y carecen de realidad propia[3].

Este es también el tema constante de la escuela budista Yogacara, que sostiene que todas las formas que percibimos son «solo mentales», proyecciones o «sombras» de la mente:

> De la mente brotan innumerables cosas, condicionadas por la discriminación […]. Estas cosas son aceptadas por la gente como un mundo exterior […]. Lo que parece ser externo no existe en realidad; es la mente la que se ve como multiplicidad —el cuerpo, las propiedades y todo lo demás, todas estas cosas, te digo, no son más que mente[4].

En la física de las partículas, la deducción de los patrones o modelos de los hadrones desde los principios generales de la teoría de la matriz-S constituye una tarea larga y ardua, y hasta ahora solo unos pocos pasos se han dado hacia su logro. No obstante, hay que tomar en serio la posibilidad de que algún día se deduzcan las propiedades de las partículas subatómicas partiendo de los principios generales, viéndose de este modo su dependencia de nuestro

modelo científico. Es una conjetura emocionante pensar que esto pueda llegar a constituir una característica general de la física de las partículas, que aparecerá también en las futuras teorías sobre las interacciones electromagnéticas, débiles y gravitacionales. De resultar esto cierto, la física moderna habrá recorrido un largo camino, para finalmente estar de acuerdo con los sabios orientales en el sentido de que las estructuras del mundo físico son *maya*, son «solo mentales».

La teoría de la matriz-S se acerca mucho al pensamiento oriental no solo en su conclusión definitiva, sino también en su visión general de la materia. Describe el mundo de las partículas subatómicas como una red dinámica de sucesos y resalta el cambio y la transformación más que las estructuras o entidades básicas. En Oriente, este énfasis es particularmente acentuado en el pensamiento budista, donde todas las cosas se consideran dinámicas, impermanentes e ilusorias. Así, escribe Radhakrishnan:

> ¿Cómo llegamos a pensar en cosas, más que en procesos en este absoluto fluir? Cerrando los ojos ante los sucesivos acontecimientos. Es una actitud artificial que hace partes en el fluir de los cambios y las llama cosas […]. Cuando sepamos la verdad de las cosas, nos daremos cuenta de lo absurdo que resulta venerar unos productos aislados de la incesante serie de transformaciones como si estos fueran eternos y reales. La vida no es ninguna cosa ni el estado de una cosa, sino un continuo movimiento, un cambio[5].

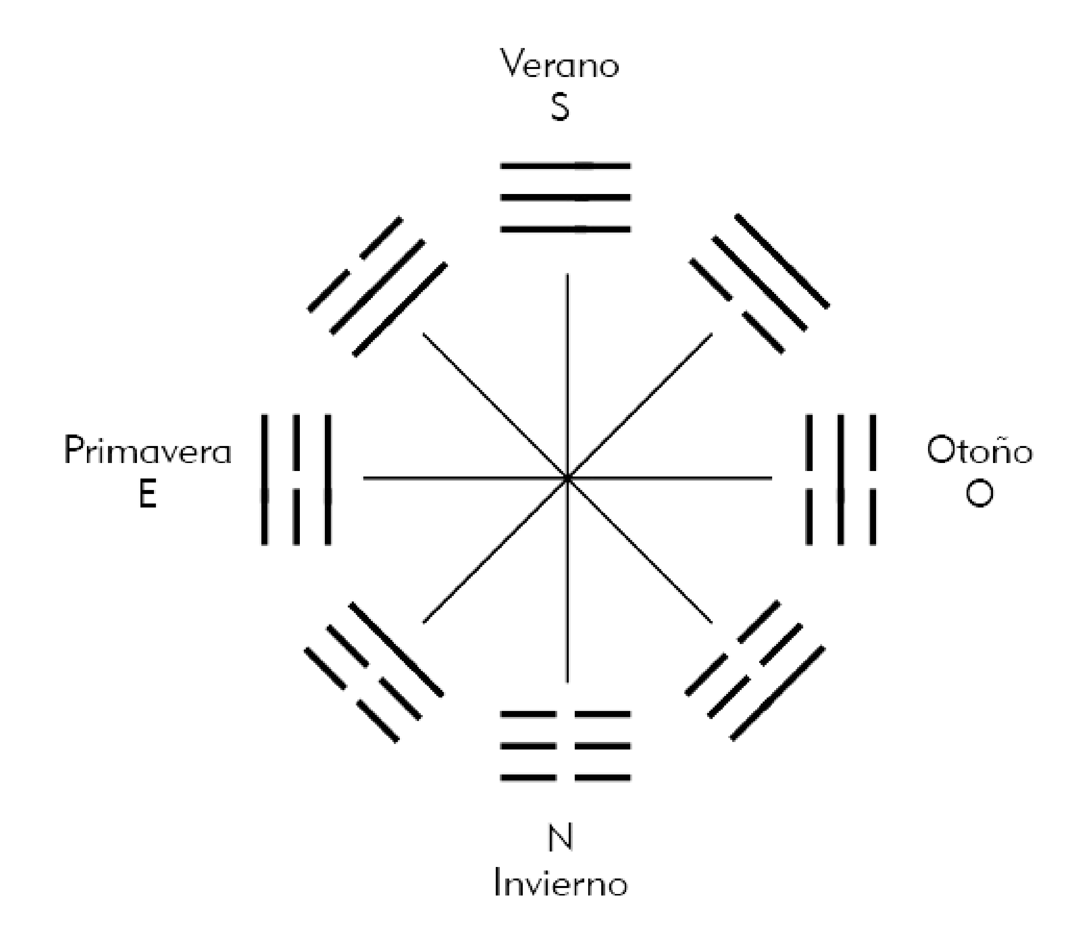
Tanto el físico moderno como el místico oriental se han dado cuenta de que todos los fenómenos de este mundo de cambio y transformación están relacionados dinámicamente entre sí. Los hindúes y los budistas consideran esta interrelación como una ley cósmica, la ley del karma, pero en general no se interesan por ningún modelo específico dentro de la red universal de sucesos. La filosofía china, que también resalta el movimiento y el cambio, desarrolló el concepto de los modelos dinámicos que se forman continuamente para disolverse de nuevo en el flujo cósmico del *Tao*. En el *I Ching* o *Libro de los Cambios*, estos modelos se elaboraron dentro de un sistema de símbolos arquetípicos: los llamados hexagramas.

El principio de ordenación básico de los patrones del *I Ching* es la interrelación de los opuestos yin y yang. El yang se representa mediante una línea continua (▬▬▬), el yin mediante una línea discontinua (▬ ▬) y la totalidad del sistema de los hexagramas se construye naturalmente con

estos dos tipos de líneas. Al combinarlas en pares, se obtienen cuatro configuraciones:

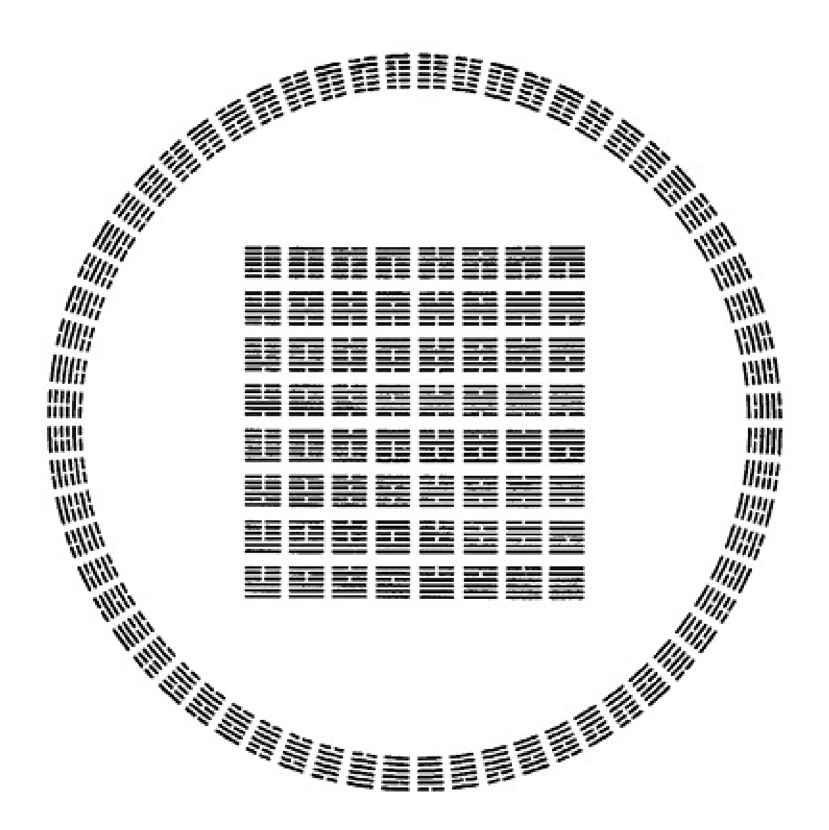
Y al añadir una tercera línea a cada una de estas, se generan ocho «trigramas»:

En la antigua China se consideraba que los trigramas eran representaciones de todas las posibles situaciones humanas y cósmicas. Se les dio nombres que reflejaban sus características básicas —tales como «Lo Creativo», «Lo Receptivo», «Lo Estimulante», etc.— y se los relacionó con muchas imágenes extraídas de la naturaleza y de la vida social. Representaban, por ejemplo, el Cielo, la Tierra, el Trueno, el Agua, etc., al igual que una familia compuesta de padre, madre, tres hijos y tres hijas. Además, se los asoció con los puntos cardinales y con las estaciones del año, y algunas veces se ordenaban de la siguiente manera:



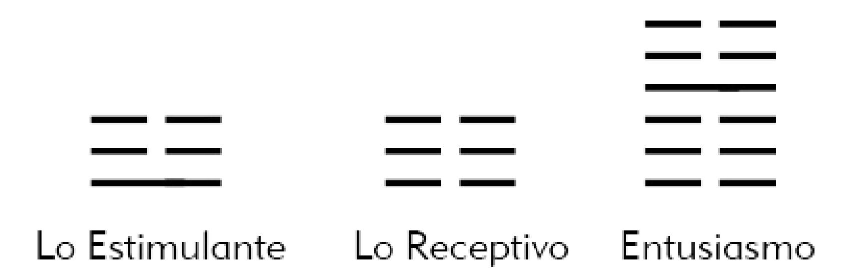
Así, los ocho trigramas se situaron alrededor de un círculo en el «orden natural» en que fueron generados, comenzando desde la parte superior (donde los chinos sitúan siempre el sur) y colocando los cuatro primeros trigramas en el lado izquierdo del círculo y los cuatro segundos en el lado derecho. Este orden muestra un alto grado de simetría, ya que los trigramas opuestos presentan líneas intercambiadas de yin y yang.

Con el fin de aumentar el número de combinaciones posibles, los ocho trigramas se combinaron por pares colocando uno encima del otro. De esta forma, se obtuvieron sesenta y cuatro hexagramas, formado cada uno de ellos por seis líneas continuas y seis discontinuas. Los hexagramas se ordenaron en varios modelos regulares; los más comunes eran los que aparecen en la ilustración siguiente: un cuadrado de ocho veces ocho hexagramas y una secuencia circular que muestra la misma simetría que el arreglo circular de los trigramas.



Los sesenta y cuatro hexagramas son los arquetipos cósmicos en los cuales se basa el uso del *I Ching* como oráculo; para la interpretación de cualquier hexagrama es necesario tener en cuenta los diversos significados de sus dos trigramas. Por ejemplo, cuando el trigrama de «Lo Estimulante» se encuentra situado encima del trigrama de «Lo Receptivo», el hexagrama se interpreta

como el encuentro del movimiento con la devoción y, por tanto, inspirando entusiasmo, que es el nombre que se le da a dicho hexagrama:



El hexagrama del Progreso, por dar otro ejemplo, representa «Lo Ceñido» sobre «Lo Receptivo», interpretándose como el Sol que sale sobre la Tierra; así, constituye un símbolo de progreso rápido y fácil:



En el *I Ching*, los trigramas y hexagramas representan los patrones del *Tao* generados por la interacción dinámica del yin y el yang y se reflejan en todas las situaciones cósmicas y humanas. Estas situaciones, por lo tanto, no se consideran estáticas, sino más bien etapas dentro de un flujo y cambio continuos. Esta es la idea básica del *Libro de los Cambios*, que viene ya expresada en su mismo título. Todas las cosas y situaciones del mundo están sujetas al cambio y la transformación, y también lo están sus imágenes: los trigramas y los hexagramas. Se hallan en un estado de continua transición, convirtiéndose uno en otro: las líneas continuas empujan hacia fuera a fin de separarse en dos y las líneas discontinuas oprimen hacia dentro para crecer juntas.

Por esta idea suya de los patrones dinámicos generados por el cambio y la transformación, quizá el *I Ching* sea la analogía del pensamiento oriental más cercana a la teoría de la matriz-S. En ambos sistemas, se resaltan los procesos, no los objetos. En la teoría de la matriz-S estos procesos son las reacciones entre las partículas que dan origen a todos los fenómenos del mundo de los hadrones. En el *I Ching* los procesos básicos se denominan «cambios» y se

los considera esenciales para lograr una comprensión de todos los fenómenos naturales:

> Los cambios son lo que permitió a los santos sabios alcanzar todas las profundidades y captar el origen de todas las cosas[6].

Estos cambios no están considerados como leyes fundamentales impuestas al mundo físico, sino más bien —en palabras de Hellmut Wilhelm— como «una tendencia interna según la cual el desarrollo ocurre de una manera natural y espontánea[7]». Lo mismo puede decirse de los «cambios» que tienen lugar en el mundo de las partículas. Estos también reflejan las tendencias internas de las partículas, que se expresan, en la teoría de la matriz-S, en términos de probabilidades de reacción.

Los cambios que tienen lugar en el mundo de los hadrones dan origen a estructuras y modelos simétricos que son simbólicamente representados mediante los canales de reacción. Ni las estructuras ni las simetrías se consideran rasgos fundamentales del mundo del hadrón, sino consecuencias de la naturaleza dinámica de las partículas, es decir, de sus tendencias al cambio y a la transformación.

También en el *I Ching* los cambios dan origen a ciertas estructuras —los trigramas y los hexagramas—. Al igual que los canales de reacción de las partículas, estos son representaciones simbólicas de los patrones de cambio. Del mismo modo que la energía fluye a través de los canales de reacción, los «cambios» fluyen a través de las líneas de los hexagramas:

> Alteración, movimiento sin descanso. Fluir a través de los seis espacios vacíos. Surgiendo y hundiéndose sin leyes fijas. […] Aquí, solo el cambio actúa[8].

Desde el punto de vista chino, todas las cosas y fenómenos que nos rodean surgen de los patrones de cambio y se representan por medio de las diversas líneas de los trigramas y hexagramas. De este modo, las cosas del mundo físico no se contemplan como estáticas, como objetos independientes, sino meramente como etapas transitorias de un proceso cósmico que es el *Tao*:

> El *Tao* tiene cambios y movimientos. Por ello a las líneas se las denomina líneas de cambio. Las líneas tienen gradaciones y, así, representan a las cosas[9].

Al igual que en el mundo de las partículas, las estructuras generadas por los cambios pueden ordenarse en varios modelos simétricos, como el modelo octogonal formado por los ocho trigramas, en el que los trigramas opuestos tienen intercambiadas sus líneas de yin y yang. Este modelo resulta vagamente similar al octeto de mesón visto en el capítulo anterior, en el que las partículas y las antipartículas ocupan lugares opuestos. Lo importante, sin embargo, no es esta similitud accidental, sino el hecho de que tanto la física moderna como el antiguo pensamiento chino consideran el cambio y la transformación como el aspecto *primario* de la naturaleza y como secundarias las estructuras y las simetrías generadas por los cambios. En la introducción a su traducción del *I Ching*, Richard Wilhelm considera esta idea el concepto fundamental del *Libro de los Cambios*:

> Los ocho trigramas […], se decía que estaban en un estado de continua transición, cambiándose uno en otro, del mismo modo que la transición de un fenómeno a otro está continuamente teniendo lugar en el mundo físico. Este es el concepto fundamental del *Libro de los Cambios*. Los ocho trigramas son símbolos que representan los estados transitorios de cambio, son imágenes que constantemente se están modificando. La atención no se centra sobre las cosas en su estado de ser —como suele ser el caso de Occidente—, sino sobre sus movimientos dentro del cambio. Así, los ocho trigramas no son representaciones de las cosas como tales, sino de sus tendencias al movimiento[10].

En la física moderna, hemos llegado a ver las «cosas» del mundo subatómico de un modo muy parecido, basándonos en el movimiento, el cambio y la transformación y considerando las partículas etapas transitorias de un continuo proceso cósmico.

18

INTERPENETRACIÓN

Hasta ahora, la exploración que hemos llevado a cabo sobre la visión del mundo sugerida por la física moderna ha mostrado repetidamente que la idea de los «ladrillos básicos» como constituyentes iniciales de la materia no puede ya sostenerse. En el pasado, este concepto resultó muy útil para explicar el mundo físico en función de unos pocos átomos, las estructuras de los átomos en función de unos pocos núcleos rodeados de electrones y, por último, las estructuras de los núcleos en función de dos «ladrillos básicos» nucleares, el protón y el neutrón. De este modo, los átomos, los núcleos y los hadrones, en diferentes momentos, se consideraron todos ellos «partículas elementales». Sin embargo, ninguno cumplió tal expectativa. Cada vez, estas partículas resultaron ser en sí mismas estructuras compuestas, y los físicos esperaban que la siguiente generación de componentes sería la definitiva.

Por otro lado, las teorías de la física atómica y subatómica mostraban cada vez como más improbable la existencia de unas partículas totalmente elementales. Revelaron la interconexión básica existente en toda materia, demostraron que la energía del movimiento puede transformarse en masa y sugirieron que las partículas son procesos, más que objetos. Estos hallazgos indicaron claramente que la representación simple y mecanicista de los «ladrillos básicos» debía abandonarse, y sin embargo, muchos físicos todavía se niegan a hacerlo. La secular tradición de explicar estructuras complejas descomponiéndolas en componentes más sencillos está tan profundamente arraigada en el pensamiento occidental que la búsqueda de estos componentes básicos continúa todavía.

No obstante, dentro de la física de las partículas existe una escuela de pensamiento radicalmente diferente, que parte de la idea de que la naturaleza no puede ser reducida a entidades básicas, ya sean partículas elementales o campos fundamentales. En lugar de ello debe comprenderse mediante su autocongruencia, siendo sus componentes congruentes entre sí y con ellos mismos. Esta idea surgió dentro del contexto de la teoría de la matriz-S y se la

conoce como la hipótesis de la «tira de bota». Su creador y principal defensor es Geoffrey Chew, quien, partiendo de esta idea, ha desarrollado una filosofía general de la «tira de bota» que abarca la totalidad de la naturaleza y, además, la ha utilizado (en colaboración con otros físicos) para construir una teoría específica de las partículas, formulada en el lenguaje de la matriz-S. Chew ha descrito la hipótesis de la «tira de bota» en varios artículos[1] que han servido de base a la siguiente exposición.

La filosofía de la «tira de bota» constituye el rechazo final a la visión mecanicista del mundo por parte de la física moderna. El universo de Newton estaba constituido por un conjunto de entidades básicas con ciertas propiedades fundamentales, que habían sido creadas por Dios y, por ello, no eran objeto de mayor análisis. De un modo u otro, esta noción se hallaba implícita en todas las teorías de la ciencia natural, hasta que la teoría de la «tira de bota» afirmó de manera explícita que el mundo no puede comprenderse como un ensamblaje de entidades no analizables. En esta nueva visión del mundo, el universo se considera como una telaraña dinámica de sucesos relacionados entre sí. Ninguna de las propiedades de una parte de esta telaraña es fundamental; todas ellas siguen el ejemplo de las propiedades de las demás partes, y la consistencia total de sus interrelaciones mutuas determina la estructura de todo el entramado.

De esta manera, la filosofía de la «tira de bota» representa la culminación de un punto de vista sobre la naturaleza, que nace en la teoría cuántica con la observación de una interrelación esencial y universal, adquiere su contenido dinámico en la teoría de la relatividad y se formula en términos de probabilidades de reacción en la teoría de la matriz-S. Al mismo tiempo, esta idea de la naturaleza se acerca más al concepto oriental del mundo, estando en armonía con él tanto en cuanto a su filosofía general como en su representación concreta de la materia.

La hipótesis de la «tira de bota» no solo niega la existencia de constituyentes básicos de la materia, sino que no acepta ningún tipo de entidades básicas o fundamentales, sean cuales sean —leyes, ecuaciones o principios fundamentales— y como consecuencia de ello abandona otra idea que ha sido parte esencial de las ciencias naturales durante cientos de años. La creencia en la existencia de unas leyes fundamentales de la naturaleza era consecuencia de la creencia en un legislador divino, profundamente arraigada en la tradición judeocristiana. En palabras de Tomás de Aquino:

> Existe una Ley Eterna, es decir, la Razón, que está en la mente de Dios y gobierna todo el Universo[2].

Esta idea de una ley divina y eterna de la naturaleza influenció sobremanera a la filosofía y la ciencia occidentales.

Descartes escribió sobre «las leyes que Dios ha puesto en la naturaleza», y Newton creía que el fin más elevado de su trabajo científico era el de evidenciar las «leyes impresas por Dios en la naturaleza». Descubrir las leyes fundamentales y definitivas de la naturaleza continuó siendo el propósito de los científicos naturales durante los siglos que siguieron a Newton.

En la física moderna, se ha desarrollado una actitud muy diferente. Los físicos han visto que todas sus teorías sobre los fenómenos naturales, incluyendo las «leyes» que los describen, son creaciones de la mente humana, propiedades de nuestro mapa conceptual de la realidad, más que una realidad en sí mismas. Este esquema conceptual es necesariamente limitado y aproximativo, como lo son todas las «leyes de la naturaleza» y las teorías científicas que las contienen. Todos los fenómenos naturales están a fin de cuentas interconectados, y para poder explicar cualquiera de ellos es necesario comprender todos los demás, lo cual, obviamente, resulta imposible. El gran logro de la ciencia ha sido el descubrimiento de que las aproximaciones son posibles. Si nos damos por satisfechos con una «comprensión» aproximada de la naturaleza, podremos de este modo describir grupos seleccionados de fenómenos, olvidando deliberadamente otros fenómenos menos relevantes.

Así, muchos de ellos pueden explicarse en función de unos pocos, y de este modo es posible comprender aspectos diferentes de la naturaleza de un modo aproximativo, sin por ello tener que comprenderlo todo a la vez. Este es el método científico: todas las teorías y modelos científicos son aproximaciones a la verdadera naturaleza de las cosas, pero el error de tales aproximaciones es, a veces, lo bastante pequeño para hacer que este enfoque tenga significado y validez. En la física de las partículas, por ejemplo, las fuerzas de interacción gravitacional que se dan entre las partículas generalmente se ignoran, porque son muchos órdenes de magnitud más débiles que las fuerzas de las demás interacciones. Aunque el error causado por esa omisión es considerablemente pequeño, resulta evidente que estas interacciones gravitacionales tendrán que incluirse en futuras y más exactas teorías sobre las partículas.

Así, los físicos construyen una secuencia de teorías tras otra, todas ellas parciales y aproximadas pero cada una más precisa que la anterior; sin

embargo, ninguna de ellas es un informe completo y definitivo de los fenómenos naturales. Al igual que estas teorías, todas las «leyes de la naturaleza» son mudables, y están destinadas a ser sustituidas por futuras leyes más exactas, a medida que se van perfeccionando las teorías. El carácter incompleto de una teoría se suele reflejar en sus parámetros arbitrarios, en las llamadas «constantes fundamentales», es decir, en cantidades cuyos valores numéricos no son explicados por la teoría, sino que se insertan en ella tras haberse hallado empíricamente. La teoría cuántica no puede explicar el valor empleado para la masa del electrón. La teoría del campo no puede explicar la magnitud de la carga del electrón, ni la de la relatividad es capaz de hacerlo con la velocidad de la luz. Bajo el punto de vista clásico, estas cantidades se consideraban constantes fundamentales de la naturaleza, que no requerían de más amplia explicación. En el concepto moderno, su papel de «constantes fundamentales» se considera algo temporal y es un reflejo de las limitaciones que las teorías actuales presentan. Según la filosofía de la «tira de bota», todas y cada una de estas «constantes fundamentales» deberán explicarse en teorías futuras, a medida que la precisión de dichas teorías vaya aumentando. De esta manera, nos acercaríamos a la situación ideal, situación que tal vez nunca se llegue a alcanzar, en la que la teoría no contenga «constantes fundamentales» no explicadas y donde todas sus «leyes» cumplan el requisito de la total congruencia.

Sin embargo, incluso la teoría ideal debe poseer rasgos no explicados, aunque no necesariamente en forma de constantes numéricas. Mientras sea una teoría, necesitará de la aceptación de ciertos conceptos sin que se expliquen, conceptos que forman el lenguaje científico. Llevar la idea de la «tira de bota» más allá nos conducirá ya a un terreno que trasciende a la ciencia:

> En un sentido amplio, la idea de la «tira de bota», aunque fascinante y útil, no es científica […]. La ciencia, tal como la conocemos, requiere de un lenguaje basado en un marco incuestionable. Por lo tanto, el intento de explicar todos los conceptos apenas puede llamarse «científico[3]».

Evidentemente, la visión de la naturaleza presentada por la «tira de bota», en la que todos los fenómenos del universo están determinados únicamente por su mutua autocongruencia, se acerca mucho a la visión oriental del mundo. Un universo indivisible, en el cual todos los objetos y sucesos están

relacionados entre sí, no tendría sentido a menos que fuese congruente y consistente. De alguna manera, tanto el requisito de la autocongruencia, que forma la base de la hipótesis de la «tira de bota», como la unidad e interrelación de todos los fenómenos, tan acentuada en el misticismo oriental, son tan solo aspectos diferentes de la misma idea. Esta estrecha relación se aprecia con gran claridad en el taoísmo. Para los sabios taoístas, todos los fenómenos del mundo eran parte del Camino cósmico —el *Tao*— y las leyes que sigue el *Tao* no fueron establecidas por ningún legislador divino, sino que son inherentes a su naturaleza. Así, leemos en el *Tao Te King*:

> El hombre sigue las leyes de la Tierra.
> La Tierra sigue las leyes del Cielo.
> El Cielo sigue las leyes del Tao.
> El Tao sigue las leyes de su intrínseca naturaleza[4].

Joseph Needham, en su profundo estudio de la ciencia y la civilización chinas, muestra cómo el concepto occidental de las leyes fundamentales de la naturaleza, con su idea implícita de la existencia de un legislador divino, carece de equivalente en el pensamiento chino: «En la visión china del mundo, la armoniosa cooperación de todos los seres surge, no de las órdenes de una autoridad superior ajena a ellos, sino del hecho de que todos ellos son parte de una jerarquía de conjuntos que forma un patrón cósmico, y a lo que ellos obedecen es a los dictados internos de sus propias naturalezas[5]».

Según él, los antiguos chinos ni siquiera tenían una palabra que correspondiese a la clásica idea occidental de «leyes de la naturaleza». El término más aproximado es *li*, que el filósofo neoconfuciano Chu Hsi describe como «los innumerables modelos —como venas— incluidos en el *Tao*[6]». Needham traduce *li* como «principio de organización» y comenta lo siguiente:

> En su sentido más antiguo significaba el patrón de las cosas, las señales del jade o las fibras del músculo […]. Adquirió el significado usual que figura en el diccionario como «principio», pero siempre conservó su connotación de «modelo» o «patrón». En él existe una «ley» implícita, pero esta ley es la ley con la que las partes de un conjunto han de conformarse en virtud de su misma existencia como partes de dicho conjunto […]. Lo más importante de las partes es que tienen que encajar exactamente con las demás partes del organismo que componen[7].

Es fácil comprender cómo tal concepto condujo a los pensadores chinos a la idea que tan recientemente se ha desarrollado en la física moderna de que la autoconsistencia o autocongruencia es la esencia de todas las leyes de la naturaleza. El párrafo siguiente de Ch'en Shun, discípulo directo de Chu Hsi que vivió a finales del siglo XIII, explica esta idea con palabras que podrían tomarse como una explicación perfecta del concepto de autocongruencia de la filosofía de la «tira de bota»:

> *Li* es una ley natural e ineludible, de los acontecimientos y las cosas […]. «Natural e ineludible» significa que los acontecimientos (humanos) y las cosas (naturales) están hechos exactamente para acoplarse, para encajar. El significado de «ley» es que el acoplamiento sucede sin el más mínimo exceso o defecto […]. Los hombres de la antigüedad, investigando las cosas hasta el extremo y buscando sin descanso el *li*, quisieron dilucidar el carácter natural ineludible de los sucesos (humanos) y de las cosas (naturales), y esto quiere decir simplemente que lo buscaban en todos los lugares donde las cosas encajaban con precisión. Solo eso[8].

Así, bajo el punto de vista oriental, al igual que bajo el de la física moderna, todas las cosas del universo están relacionadas con todas las demás y ninguna de sus partes es más fundamental o básica que las otras. Las propiedades de cualquiera de las partes están determinadas no por una ley fundamental, sino por las propiedades de todas las demás partes. Tanto los físicos como los místicos se dan cuenta de que el resultado de esto es la imposibilidad de explicar cualquier fenómeno en su totalidad, pero luego sus actitudes difieren. Los físicos, como antes dije, se muestran satisfechos con una comprensión aproximada de la naturaleza. Los místicos orientales, por el contrario, no tienen ningún interés en el conocimiento aproximado o «relativo». El objeto de su interés es el conocimiento «absoluto» que implica una comprensión de la totalidad de la vida. Siendo muy conscientes de la interrelación esencial del universo, advierten que explicar algo significa, en definitiva, demostrar cómo está relacionado con todo lo demás. Como esto resulta imposible, insisten en que ningún fenómeno simple puede explicarse (refiriéndose a fenómenos aislados). Ashvaghosha dice:

> En su naturaleza fundamental, ninguna cosa puede ser nombrada ni explicada. Ninguna puede ser adecuadamente expresada bajo forma

alguna de lenguaje[9].

De este modo, los sabios orientales generalmente no se interesaban en explicar las cosas, sino más bien en obtener una experiencia directa no intelectual de la unidad de todas ellas. Esta era la actitud de Buda, que respondió a todas las preguntas sobre el significado de la vida, sobre el origen del mundo, o la naturaleza del nirvana, con un «noble silencio». Las respuestas carentes de sentido de los maestros zen, cuando se les pide que expliquen algo, parecen tener el mismo propósito: hacer que el estudiante se dé cuenta de que todo es consecuencia del resto, que «explicar» la naturaleza tan solo significaría mostrar su unidad y que, en definitiva, no hay nada que explicar. Cuando un monje le preguntó a Tozan, que estaba pesando lino: «¿Qué es el Buda?», Tozan dijo: «Este lino pesa tres libras[10]»; y cuando a Joshu le preguntaron: «¿Por qué vino a China Bodhidharma?», este contestó: «Un roble en el jardín[11]».

Una de las principales metas del misticismo oriental es liberar a la mente humana de las palabras y de las explicaciones. Los budistas y los taoístas hablan de una «red de palabras» o una «red de conceptos», dando así idea de la telaraña interrelacionada con el mundo del intelecto. Mientras intentemos explicar las cosas, estaremos ligados al karma: estaremos atrapados en nuestra red de conceptos. Trascender las palabras y las explicaciones equivale a romper los lazos del karma y alcanzar la liberación.

La visión que los místicos orientales tienen del mundo comparte con la filosofía de la «tira de bota» no solo su énfasis sobre la mutua interrelación y autocongruencia de todos los fenómenos, sino también su negación de la existencia de componentes fundamentales o básicos en la materia. En un universo que es un todo inseparable y donde todas las formas son fluidas y en constante cambio, ninguna entidad fundamental predeterminada tiene cabida. Por consiguiente, la idea de los «ladrillos básicos» con los que estaría construida la materia en general no existe en el pensamiento oriental. Las teorías atómicas sobre la composición de la materia nunca se desarrollaron en el pensamiento chino, y aunque surgieron en algunas escuelas de filosofía hindú, ocupan en el misticismo indio más bien un lugar periférico. En el hinduismo, el concepto de los átomos existe en el sistema Jaina (considerado no ortodoxo, ya que no acepta la autoridad de los *Vedas*). En la filosofía budista, las teorías atómicas florecieron en dos escuelas de budismo Hinayana, pero la más importante rama Mahayana las trata como productos ilusorios de *avidya*. Así, dice Ashvaghosha:

> Dividiendo alguna materia bruta [o compuesta], podemos llegar a reducirla a átomos. Pero como el átomo también está sujeto a más divisiones, todas las formas de existencia material, ya sean burdas o finas, no son más que la sombra de la particularización y no se les puede atribuir ningún grado de realidad absoluta o independiente[12].

De este modo, las principales escuelas de misticismo oriental están de acuerdo con la filosofía de la «tira de bota» en el sentido de que el universo es un conjunto totalmente interrelacionado, en el cual no existe ninguna parte que sea más fundamental que otra; así, las propiedades de cualquiera de las partes serán determinadas por las propiedades de todas las demás. Podría decirse que cada parte «contiene» al resto y, de hecho, una característica de la experiencia mística de la naturaleza parece ser precisamente esa sensación. En palabras de Sri Aurobindo:

> Para el sentido supramental, nada es realmente finito; está basado en el sentimiento de que todo está en cada uno y cada uno está en todo[13].

Esta idea de «todo en cada uno y cada uno en todo» se elaboró extensamente en la escuela Avatamsaka del budismo Mahayana, considerada a veces como la culminación del pensamiento budista. Se basa en el *Sutra Avatamsaka*, que, según la tradición, fue dado por Buda mientras se hallaba en meditación profunda, después de su iluminación. Este voluminoso sutra, hasta el momento no traducido a ninguna lengua occidental, describe con gran detalle cómo se percibe el mundo en el estado iluminado de conciencia, cuando «los sólidos perfiles de la individualidad se funden y el sentimiento de lo finito deja de oprimirnos[14]». En su última parte, llamada el *Gandavyuha*, cuenta la historia de un joven peregrino, Sudhana, y da un vivo relato de su experiencia mística del universo, que él percibe como una red perfecta de relaciones mutuas, donde todas las cosas y acontecimientos interactúan unos con otros, de tal manera que cada uno de ellos contiene, en sí mismo, a todos los demás. El siguiente pasaje del sutra, parafraseado por D. T. Suzuki, utiliza la imagen de una torre magníficamente decorada, para transmitir la experiencia de Sudhana:

> La Torre es tan ancha y espaciosa como el mismo cielo. El suelo está pavimentado con [innumerables] piedras preciosas de todos tipos, y

> dentro de la Torre hay [innumerables] palacios, pórticos, ventanas, escaleras, barandillas y pasadizos, todos ellos hechos de las siete clases de piedras preciosas […].
>
> Y dentro de esta Torre, espaciosa y exquisitamente adornada, hay también cientos de miles […] de torres, cada una de las cuales está tan exquisitamente adornada como la Torre principal y es tan espaciosa como el cielo. Y todas estas torres, más abundantes de lo que podría calcularse en números, no se molestan en absoluto unas a otras; cada una mantiene su existencia individual en perfecta armonía con todo el resto; nada impide a una torre estar fusionada con todas las demás individual y colectivamente; es un estado de perfecta unión y, sin embargo, de perfecto orden. Sudhana, el joven peregrino, se ve él mismo en todas las torres y en cada una de ellas, pues todo está contenido en una y cada una de ellas contiene al todo[15].

La Torre de este pasaje es, por supuesto, una metáfora del propio universo, y la perfecta interfusión mutua de sus partes se conoce en el budismo Mahayana como «interpenetración». El *Sutra Avatamsaka* aclara que esta interpenetración es esencialmente una interrelación dinámica que tiene lugar no solo de un modo espacial, sino también temporalmente. Como ya dije, el espacio y el tiempo también se consideran como penetrándose entre sí.

La experiencia de la interpenetración en el estado iluminado puede considerarse una visión mística de la idea de la «tira de bota», en la que todos los fenómenos del universo se relacionan mutuamente de manera armoniosa. En tal estado de conciencia, el mundo del intelecto es trascendido y las explicaciones causales se hacen innecesarias —se sustituyen por la experiencia directa de la interdependencia mutua de todos los objetos y sucesos—. El concepto budista de la interpenetración va por ello más allá de cualquier teoría científica de la «tira de bota». Sin embargo, existen en la física moderna modelos de partículas subatómicas basados en la hipótesis de la «tira de bota», que muestran el más sorprendente paralelismo con las convicciones del budismo Mahayana.

Al formularse la idea de la «tira de bota» en un contexto científico, tiene que ser limitada y aproximativa, y su principal aproximación consiste en descuidar todo menos las interacciones fuertes. Dado que estas fuerzas de interacción son aproximadamente cien veces más fuertes que las

electromagnéticas, y muchos órdenes de magnitud más fuertes que las interacciones débiles y gravitacionales, tal aproximación parece razonable. La «tira de bota» científica, así, trata exclusivamente con partículas que interactúan fuertemente, es decir, con hadrones, y a menudo se la denomina la «tira de bota de los hadrones». Está formulada dentro del marco de la teoría de la matriz-S y su finalidad es deducir todas las propiedades de los hadrones y sus interacciones únicamente de su condición de autocongruencia. Las únicas leyes fundamentales aceptadas son los principios generales de la matriz-S tratados en el capítulo anterior, imprescindibles para nuestros métodos de observación y medida y que constituyen el marco necesario para toda ciencia. Tal vez otras propiedades de la matriz-S tengan que postularse temporalmente como «principios fundamentales», pero se esperará a que emerjan como una consecuencia necesaria de la autocongruencia de la teoría completa. El postulado de que todos los hadrones forman secuencias descritas por el formulismo de Tullio Regge puede ser un principio de este tipo.

Así, en el lenguaje de la teoría de la matriz-S, la hipótesis de la «tira de bota» sugiere que la totalidad de la matriz-S y, por consiguiente, todas las propiedades de los hadrones pueden determinarse únicamente por los principios generales, porque solo hay una posible matriz-S congruente con los tres. Esta conjetura se apoya en el hecho de que los físicos nunca se han acercado a la construcción de un modelo matemático que satisfaga los tres principios generales. Si la única matriz-S congruente es la que describe todas las propiedades e interacciones de los hadrones, como asume la hipótesis de la «tira de bota», el fracaso de los físicos en construir una matriz-S parcialmente congruente se hace ya comprensible.

Las interacciones que se dan entre las partículas subatómicas son tan complejas que de ningún modo es seguro que una teoría de la matriz-S completa y autocongruente pueda alguna vez elaborarse, pero sí podemos pensar en una serie de modelos parcialmente eficaces, aunque de menor alcance. Cada uno de ellos tendría la finalidad de cubrir solo una parte de la física de las partículas y, por tanto, contendría algunos parámetros no explicados que representarían sus limitaciones, pero los parámetros de un modelo tal vez sean explicados por otro. Así, gradualmente, podrán cubrirse cada vez más fenómenos con una precisión cada vez mayor, mediante un mosaico de modelos entrelazados, cuyo número de parámetros no explicados continuará disminuyendo de forma progresiva. La denominación de «tira de bota» no es apropiada para ningún modelo individual, sino que solo puede aplicarse a una combinación de modelos mutuamente congruentes, ninguno

de los cuales es más fundamental que los demás. Como expresa Chew, «un físico capaz de ver cualquier número de modelos diferentes parcialmente eficaces sin favoritismo automáticamente se convierte en un *bootstrapper*» (seguidor de la teoría de la «tira de bota[16]»).

Ya existe un cierto número de modelos parciales de ese tipo, los cuales indican que el programa de la «tira de bota» probablemente se llevará a cabo en un futuro no muy lejano. En lo que a los hadrones se refiere, el mayor de los retos de las teorías de la matriz-S y de la «tira de bota» siempre ha sido explicar la estructura del quark, tan característico en las interacciones fuertes. Hasta hace poco, el marco de la «tira de bota» no pudo explicar estas sorprendentes regularidades, y esta fue la principal razón por la que la comunidad de físicos no la tomó muy en serio. La mayoría de ellos preferían trabajar con el modelo de quark que proporcionaba, si no una explicación congruente, al menos una descripción fenomenológica. Sin embargo, la situación ha cambiado drásticamente en los últimos años. Varios descubrimientos importantes habidos en la teoría de la matriz-S han conducido a una mejor comprensión que ha posibilitado deducir la mayor parte de los resultados característicos del modelo del quark, sin necesidad de postular la existencia de quarks físicos. Estos resultados han generado gran entusiasmo entre los teóricos de la matriz-S y probablemente obligarán a los físicos a reevaluar totalmente sus actitudes hacia el enfoque de la «tira de bota» sobre la física subatómica.

El cuadro de los hadrones que nos presenta la teoría de la «tira de bota» puede resumirse con esta provocativa frase: «Toda partícula se compone de todas las demás partículas». No debemos imaginar, sin embargo, que cada hadrón contiene a todos los demás en un sentido clásico y estático. Más que «contenerse» uno a otro, los hadrones se «envuelven» uno a otro en el sentido dinámico y probable de la teoría de la matriz-S, y cada hadrón es un «estado de unión» potencial de todos los conjuntos de partículas que puedan interactuar una con otra para formar el hadrón que se está considerando. En ese sentido, todos los hadrones son estructuras compuestas, cuyos componentes son, una vez más, hadrones, y ninguno de ellos es más elemental que los otros. Las fuerzas de unión que mantienen las estructuras se manifiestan mediante el intercambio de partículas, y estas partículas intercambiadas vuelven de nuevo a ser hadrones. De este modo, cada hadrón desempeña tres papeles: es una estructura compuesta, puede ser un componente de otro hadrón y puede ser intercambiado entre constituyentes — y ser así parte de las fuerzas que mantienen unida la estructura.

En este cuadro el concepto de «cruce» es algo esencial. Cada hadrón se mantiene unido mediante fuerzas relacionadas con el intercambio de otros hadrones en el canal de cruce, y cada uno de estos, a su vez, se mantiene unido mediante fuerzas a las que contribuye el primer hadrón. De esta manera, «cada partícula ayuda a generar otras partículas, que a su vez la generan a ella[17]». Todo el conjunto de hadrones se genera a sí mismo de este modo, o se extrae, por así decir, mediante la «tira de bota» (autocongruencia). La idea, pues, es que este mecanismo extremadamente complejo de la «tira de bota» es autodeterminante, esto es, solo existe un modo de lograrlo. En otras palabras, solo existe un posible conjunto autocongruente de hadrones: el que se encuentra en la naturaleza.

En la «tira de bota» de los hadrones, todas las partículas están dinámicamente compuestas una de otra, de un modo autocongruente, y en ese sentido puede decirse que todas ellas se «contienen» una a otra. En el budismo Mahayana, se aplica un concepto muy similar a la totalidad del universo. Esta red cósmica de objetos y acontecimientos que se interpenetran se ilustra en el *Sutra Avatamsaka* con la metáfora de la red de Indra, un vasto entramado de gemas preciosas que cuelgan del palacio del dios Indra. En palabras de *sir* Charles Eliot:

> En el cielo de Indra, se dice que hay una red de perlas, ordenadas de tal forma que si miras a una, ves a todas las demás reflejadas en ella. Del mismo modo, cada objeto del mundo no es solo él mismo, sino que incluye a todos los demás objetos y de hecho es todos los demás. «En cada partícula de polvo, se encuentran presentes Budas innumerables[18]».

La similitud de esta imagen con la «tira de bota» de los hadrones es verdaderamente sorprendente. La metáfora de la red de Indra podría con justicia considerarse el primer modelo de la «tira de bota», creado por los sabios orientales unos dos mil quinientos años antes de iniciarse la física de las partículas. Los budistas insisten en que el concepto de interpenetración no es comprensible de manera intelectual, sino que ha de experimentarlo la mente iluminada en el estado de meditación. Así, escribe D. T. Suzuki:

> El Buda [en el *Gandavyuha*] ya no es el que vive en el mundo que se concibe en el espacio y en el tiempo. Su conciencia no es la de una mente ordinaria, que debe ser regulada de acuerdo con los sentidos y

> la lógica […]. El Buda del *Gandavyuha* vive en un mundo espiritual que tiene sus propias reglas[19].

En la física moderna, la situación es bastante similar. La idea de que cada partícula contiene a todas las demás es inconcebible en el espacio y el tiempo ordinarios. Describe una realidad que, como la de Buda, tiene sus propias reglas. En el caso de la «tira de bota» de los hadrones, existen las reglas de la teoría cuántica y la teoría de la relatividad; su concepto clave es que las fuerzas que mantienen unidas las partículas son en sí mismas partículas intercambiadas en los canales de cruce. A este concepto se le puede dar un significado matemático preciso, pero es casi imposible de visualizar. Se trata de un rasgo relativista de la «tira de bota», y dado que no tenemos experiencia directa del mundo cuatridimensional espaciotemporal, resulta extremadamente difícil imaginar cómo una sola partícula puede contener a todas las demás partículas y al mismo tiempo ser parte de cada una de ellas. Sin embargo, este es exactamente el punto de vista del Mahayana:

> Cuando el uno es contrapuesto a todo lo demás, se lo ve como penetrándolo todo y, al mismo tiempo, abrazando a todo en sí mismo[20].

La idea de que cada partícula contiene a todas las demás no ha surgido solo en el misticismo oriental, sino también en el pensamiento místico occidental. Está implícita, por ejemplo, en los famosos versos de William Blake:

> Para ver un mundo en un grano de arena
> y un cielo en una flor silvestre,
> sostén el infinito en la palma de tu mano,
> y la eternidad en una hora.

Una vez más, una visión mística nos ha llevado a una imagen del tipo de la «tira de bota»; si el poeta ve el mundo en un grano de arena, el físico moderno lo ve en un hadrón. Una imagen similar aparece en la filosofía de Leibniz, quien consideraba el mundo como hecho de sustancias fundamentales llamadas «mónadas», cada una de las cuales reflejaba todo el universo. Esto le condujo a una visión de la materia que muestra similitudes

con la del budismo Mahayana y con la teoría de la «tira de bota» de los hadrones[*]. En su *Monadología*, escribe Leibniz:

> Cada porción de materia puede concebirse como un jardín lleno de plantas y como un estanque lleno de peces. Pero cada rama de la planta, cada miembro del animal, cada gota de sus humores es también un jardín y un estanque semejante[21].

Es interesante considerar que la similitud de estas líneas con los pasajes del *Sutra Avatamsaka* antes mencionados pueda provenir de una influencia budista en Leibniz. Joseph Needham sostiene[22] que Leibniz conocía bien el pensamiento y la cultura chinos a través de traducciones que recibía de los monjes jesuitas y que su filosofía podría muy bien haber sido inspirada por la escuela neoconfucianista de Chu Hsi, conocida por él. Esta escuela, no obstante, tiene una de sus raíces en el budismo Mahayana, y en particular en la escuela Avatamsaka (en chino, *Hua-yen*) de la rama Mahayana. Needham, de hecho, menciona la metáfora de la red de perlas de Indra explícitamente en relación con las mónadas de Leibniz.

Una comparación más detallada de la idea de Leibniz sobre las «relaciones reflexivas» existentes entre las mónadas con la idea de la interpenetración del Mahayana parece demostrar, no obstante, que ambas son bastante diferentes y que la concepción budista de la materia se acerca mucho más al espíritu de la física moderna que la de Leibniz. La principal diferencia entre la *Monadología* y el punto de vista budista parece ser que las mónadas de Leibniz son sustancias fundamentales, que se consideran los constituyentes definitivos de la materia. Leibniz inicia su obra con estas palabras: «La mónada de la que vamos a hablar es meramente una sustancia *simple*, que forma compuestos: simple quiere decir sin partes». Continúa diciendo: «Y estas mónadas son los verdaderos átomos de la naturaleza, en una palabra, los elementos que componen todas las cosas[23]». Este punto de vista «fundamentalista» está en agudo contraste con la filosofía de la «tira de bota», y también es totalmente diferente de la visión del budismo Mahayana, que rechaza cualquier entidad o sustancia fundamental. La forma de pensar fundamentalista de Leibniz queda también reflejada en su visión de las fuerzas, a las que él considera leyes «impresas por decreto divino» y esencialmente diferentes de la materia: «Las fuerzas y la actividad —escribe— no pueden ser estados de algo meramente pasivo, como la materia[24]».

Una vez más, esto va contra los conceptos de la física moderna y del misticismo oriental.

En lo referente a la interrelación entre las mónadas, la principal diferencia con la «tira de bota» de los hadrones parece ser que las mónadas no interactúan unas con otras; «no tienen ventanas», como señala Leibniz, y simplemente se reflejan una a otra. Por el contrario, en el modelo de la «tira de bota» de los hadrones, al igual que en el budismo Mahayana, lo más notable es la interacción o «interpenetración» de todas las partículas. Además, los conceptos de materia de la «tira de bota» y del budismo Mahayana son ambos conceptos «espaciotemporales» que consideran a los objetos como sucesos cuya interpenetración mutua solo es comprensible si se admite que el espacio y el tiempo también se interpenetran.

La hipótesis de la «tira de bota» está todavía lejos de completarse y las dificultades técnicas que su formulación implica son considerables. Sin embargo, los físicos han comenzado ya a extender su enfoque autocongruente más allá de la descripción de partículas de fuerte interacción. Esta extensión trascenderá finalmente al presente contexto de la teoría de la matriz-S, que se diseñó específicamente para describir las interacciones fuertes. Será necesario hallar un marco más general, capaz de «tirar» de algunos conceptos en la actualidad aceptados sin explicación. Tendrán que derivarse o deducirse de la autocongruencia general. Según Geoffrey Chew, podrían incluir nuestra concepción del espacio-tiempo macroscópico y quizá incluso la de la conciencia humana:

> Llevada a su extremo lógico, la conjetura de la «tira de bota» significa que la existencia de la conciencia, junto con todos los demás aspectos de la naturaleza, es necesaria para que la totalidad del conjunto sea autocongruente[25].

Este punto de vista, una vez más, está en perfecta armonía con los de las tradiciones místicas orientales, que siempre han considerado la conciencia como parte integrante del universo. En la visión oriental, los seres humanos, como todos los demás modos de vida, forman parte de un todo orgánico e inseparable. Su inteligencia, por consiguiente, implica que el todo también es inteligente. Al ser humano se le considera la prueba viviente de la inteligencia cósmica; en nosotros, el universo repite una vez y otra su capacidad de producir formas, mediante las cuales es consciente de sí mismo.

En la física moderna, la cuestión de la conciencia surgió en relación con la observación de los fenómenos atómicos. La teoría cuántica ha evidenciado que estos fenómenos solo pueden entenderse como lazos de una cadena de procesos, cuyo final es la conciencia del observador humano. En palabras de Eugene Wigner, «sin referencia a la conciencia no era posible formular las leyes [de la teoría cuántica] de un modo completamente congruente[26]». La formulación pragmática de la teoría cuántica utilizada por los científicos en sus obras no se refiere explícitamente a su conciencia. Sin embargo, Wigner y otros físicos afirman que la explícita inclusión de la conciencia humana puede ser un aspecto esencial de las futuras teorías sobre la materia.

Tal evolución abriría emocionantes posibilidades de una interacción directa entre la física y el misticismo oriental.

La comprensión de la conciencia de uno mismo y de su relación con el resto del universo es el punto de partida de toda la experiencia mística. Los místicos orientales han explorado durante siglos varios modos de conciencia, y las conclusiones a las que han llegado son a menudo radicalmente diferentes de las ideas sostenidas en Occidente. Si los físicos desean realmente incluir la naturaleza de la conciencia humana en su investigación, el estudio de las ideas orientales podrá proporcionarles nuevos y estimulantes puntos de vista.

De esta manera, la futura ampliación de la «tira de bota» de los hadrones con la «tira de bota del espacio-tiempo» y tal vez también con la conciencia humana abrirá el camino a posibilidades sin precedentes que muy bien pueden ir más allá del marco convencional de la ciencia:

> Tal paso sería inmensamente más profundo que cualquier cosa comprendida en la «tira de bota» de los hadrones. Nos veríamos obligados a afrontar el fugaz concepto de la observación y posiblemente, incluso, el de la conciencia. Nuestro actual trabajo con la «tira de bota» de los hadrones puede que solo sea un anticipo de una forma completamente nueva del trabajo intelectual humano, forma que no solo trascenderá a la física, sino que incluso tal vez no podrá ser descrita como «científica[27]».

¿A dónde, pues, nos lleva la idea de la «tira de bota»? Esto, desde luego, nadie lo sabe, pero resulta fascinante especular sobre su destino definitivo. Es posible imaginar una red de teorías futuras, cubriendo una gama cada vez mayor de fenómenos naturales con progresiva precisión. Una red que

contendrá cada vez menos rasgos no explicados y cuya estructura derivará cada vez más de la mutua congruencia de sus partes.

Algún día, se alcanzará un punto donde los únicos caracteres no explicados de este entramado de teorías serán los elementos del marco científico. Más allá de ese punto, la teoría ya no será capaz de expresar sus resultados con palabras o con conceptos racionales, y de este modo trascenderá a la ciencia. En lugar de una *teoría* de la «tira de bota» sobre la naturaleza, se convertirá en una *visión* de la «tira de bota» de la naturaleza, trascendiendo los reinos del pensamiento y del lenguaje, sacándonos de la ciencia y llevándonos hacia el mundo de *acintya*, lo impensable. El conocimiento contenido en una visión así será completo, pero no podrá comunicarse con palabras. Será el conocimiento que Lao Tse tenía en mente, hace más de dos mil años, al decir:

> El que sabe no habla.
> El que habla no sabe[28].

EPÍLOGO

El interés de las filosofías religiosas orientales es el conocimiento místico atemporal, que está más allá del razonamiento y que no puede expresarse adecuadamente con palabras. La relación de este conocimiento con la física moderna no es más que uno de sus múltiples aspectos y, como todos los demás, no puede demostrarse de un modo concluyente, sino que debe experimentarse de forma directa e intuitiva. Lo que espero haber logrado, hasta cierto punto, no es una demostración rigurosa, sino simplemente haber dado al lector una oportunidad de revivir de vez en cuando una experiencia que para mí ha llegado a ser fuente de continua alegría e inspiración: descubrir que las teorías y los modelos principales de la física moderna conducen a una visión del mundo que es internamente congruente y que se hallan en perfecta armonía con las ideas del misticismo oriental.

Para quienes hayan experimentado esta armonía, el significado de los paralelismos existentes entre los conceptos del mundo de los físicos y los de los místicos estará fuera de toda duda. La cuestión que nos interesa entonces no es si estos paralelismos existen, sino *por qué* y, sobre todo, ¿que significa su existencia?

En su intento por comprender el misterio de la vida, el hombre ha seguido caminos muy diferentes. Entre ellos se encuentran los caminos del científico y el místico, pero hay muchos más: los caminos de los poetas, de los niños, de los payasos o de los chamanes, por citar solo unos cuantos. Estos caminos han resultado en diferentes descripciones del mundo, verbales y no verbales, que resaltan distintos aspectos. Todos son válidos y útiles en el contexto en que surgen. Todos ellos, sin embargo, son solo descripciones o representaciones de la realidad y, por tanto, limitados. Ninguno puede ofrecer una imagen completa del mundo.

La visión mecanicista del mundo sostenida por la física clásica es útil para describir el tipo de fenómenos físicos con los que nos encontramos en nuestra vida diaria y, de este modo, resulta apropiada para tratar con nuestro medio

ambiente cotidiano y ha logrado un notable éxito como base de la tecnología. Sin embargo, es inadecuada para describir los fenómenos físicos del mundo submicroscópico. La visión de los místicos es opuesta al concepto mecanicista del mundo y podría resumirse mediante la palabra *orgánica*, pues considera que todos los fenómenos del universo son partes integrantes de un todo armónico e indivisible. En las tradiciones místicas esta visión del mundo surge de los estados meditativos de conciencia. En su descripción del mundo, los místicos emplean conceptos nacidos de sus experiencias no ordinarias que, en general, resultan inapropiadas para describir científicamente los fenómenos macroscópicos. Esta visión orgánica del mundo carece de utilidad para construir máquinas, y tampoco sirve para solucionar los múltiples problemas técnicos que surgen en nuestro mundo superpoblado.

En la vida diaria, tanto la visión del universo mecanicista como la orgánica son válidas y útiles; una para la ciencia y la tecnología, la otra para la vida espiritual, equilibrada y plena. Sin embargo, al trascender las dimensiones de nuestro entorno cotidiano, los conceptos mecanicistas pierden su validez y tienen que ser sustituidos por conceptos orgánicos, que resultan muy similares a los empleados por los místicos. Lo que hemos tratado es la experiencia esencial de la física moderna. La física del siglo XX ha demostrado que los conceptos de la visión orgánica del mundo, aunque de escaso valor para la ciencia y la tecnología en la escala humana, resultan extremadamente útiles en los niveles atómico y subatómico. La visión orgánica, por tanto, parece más fundamental que la mecanicista. La física clásica, que está basada en la visión mecanicista, puede derivarse de la teoría cuántica, que se basa en la orgánica, mientras que no es posible hacerlo a la inversa. Esto parece indicarnos por qué los conceptos de la física moderna y del misticismo oriental son similares. Ambos surgen cuando el hombre inquiere en la naturaleza esencial de las cosas —dentro de los más profundos reinos de la materia en la física y dentro de los más recónditos mundos de la conciencia en el misticismo—, descubriendo entonces una realidad diferente, que trasciende la superficial apariencia mecánica de la vida diaria.

Los paralelismos existentes entre los conceptos de los físicos y los de los místicos se hacen todavía más evidentes si observamos otras similitudes que existen a pesar de sus diferentes enfoques. Para empezar, el método de ambos es completamente empírico. Los físicos obtienen su conocimiento de los experimentos; los místicos, de sus percepciones meditativas. Ambas son observaciones, y tanto en la física como en el misticismo a tales observaciones se las considera la única fuente de conocimiento. Por supuesto,

el objeto de la observación es muy diferente en cada caso. El místico mira hacia dentro de sí mismo y explora los diversos niveles de su conciencia, lo cual incluye también al cuerpo como manifestación física de la mente. La experiencia del cuerpo es resaltada en muchas tradiciones orientales y a veces se la considera la clave de la experiencia mística del mundo. Cuando gozamos de buena salud, no sentimos ninguna de las partes de nuestro cuerpo separada del resto, sino que somos conscientes de él como un todo integrado, y esta conciencia genera un sentimiento de bienestar y de felicidad. Del mismo modo, el místico es consciente de la totalidad del cosmos, que experimenta como una prolongación de su cuerpo. En palabras del lama Govinda:

> Para el hombre iluminado […] cuya conciencia abraza la totalidad del universo, este se convierte en su «cuerpo», mientras que su cuerpo físico se hace una manifestación de la Mente Universal, su visión interna una expresión de la más alta realidad y sus palabras una expresión de la verdad eterna y del poder mántrico[1].

Al contrario que el místico, el físico comienza su investigación sobre la naturaleza esencial de las cosas, estudiando el mundo material. Penetrando en los mundos cada vez más recónditos de la materia, se ha hecho consciente de la unidad esencial de todas las cosas y sucesos. Incluso ha ido más lejos, ha aprendido que él mismo y su conciencia son parte integrante de esa unidad. Así, el místico y el físico llegan a la misma conclusión, uno partiendo del mundo interno, el otro del mundo externo. La armonía entre sus conceptos confirma la antigua sabiduría hindú de que *Brahman*, la realidad última externa, es idéntico a *Atman*, la realidad interna.

Una similitud más que se da entre los caminos del físico y el místico es el hecho de que sus observaciones tienen lugar en mundos que son inaccesibles para los sentidos ordinarios. En la física moderna, son los reinos del mundo atómico y subatómico; en el misticismo, los estados no ordinarios de conciencia donde se trasciende el mundo sensorial. Los místicos hablan de dimensiones más elevadas en las que las impresiones de diferentes centros de conciencia se integran en un conjunto armónico. Algo similar se da en la física moderna, donde se ha desarrollado un formulismo cuatridimensional espaciotemporal que unifica los conceptos y las observaciones procedentes de diferentes niveles del mundo ordinario tridimensional. En ambos casos, las experiencias multidimensionales trascienden el mundo sensorial y, por ello, son casi imposibles de expresar en lenguaje corriente.

Así, vemos que los caminos del físico moderno y del místico oriental, que al principio parecían sin relación alguna, sí tienen, de hecho, mucho en común. Por ello, no es sorprendente que en sus descripciones del mundo se den paralelismos asombrosos. Una vez aceptadas todas estas analogías existentes entre la ciencia occidental y el misticismo oriental, surgirán ciertas preguntas sobre sus posibles consecuencias e implicaciones. ¿Estará la ciencia moderna, con toda su sofisticada maquinaria, simplemente redescubriendo la antigua sabiduría, conocida por los sabios orientales desde hace miles de años? En consecuencia, ¿deberían abandonar los físicos el método científico y ponerse a meditar? ¿Podría darse una influencia mutua entre la ciencia y el misticismo, tal vez incluso una síntesis?

En mi opinión la respuesta a todas estas preguntas es un rotundo «no». Creo que la ciencia y el misticismo son dos manifestaciones complementarias de la mente humana, de sus facultades racionales e intuitivas.

El físico moderno experimenta el mundo a través de una enorme especialización de la mente racional; el místico, gracias a una enorme especialización de la mente intuitiva. Ambos enfoques son totalmente diferentes e implican mucho más que una visión determinada del mundo físico. Sin embargo, son complementarios, como hemos aprendido a decir en física. Ni uno está comprendido en el otro ni puede ninguno de ellos reducirse al otro, sino que ambos son necesarios y se complementan mutuamente para darnos una comprensión más completa del mundo. Parafraseando un antiguo proverbio chino, podemos decir que los místicos comprenden las raíces del *Tao*, pero no sus ramas; los científicos comprenden sus ramas, pero no sus raíces. La ciencia no necesita del misticismo y el misticismo no necesita de la ciencia; pero el hombre sí necesita de ambos. La experiencia mística es necesaria para comprender la naturaleza más profunda de las cosas y la ciencia es esencial para la vida moderna. Lo que necesitamos, pues no es una síntesis, sino una interacción dinámica entre la intuición mística y el análisis científico.

Hasta ahora, esto no se ha logrado en nuestra sociedad. En la actualidad, nuestra actitud es demasiado yang —por emplear de nuevo la terminología china—, demasiado racional, masculina y agresiva. Los mismos científicos son un ejemplo típico. Aunque sus teorías están llevando a una visión del mundo que es muy similar a la de los místicos, es sorprendente lo poco que esto ha afectado a las actitudes de la mayoría de ellos. En el misticismo, el conocimiento no puede darse separado de una forma determinada de vida, que se convierte en su manifestación viva. Adquirir el conocimiento místico

significa sufrir una transformación; incluso podría decirse que el propio conocimiento es la transformación. El conocimiento científico, por el contrario, puede permanecer abstracto y teórico. Por eso la mayor parte de los físicos de hoy no parecen darse cuenta de las implicaciones filosóficas, culturales y espirituales de sus teorías. Muchos de ellos apoyan activamente una sociedad todavía basada en la visión mecanicista y fragmentada del mundo, sin darse cuenta de que la ciencia está señalando más allá de dicho concepto, está señalando hacia la unidad del universo, que incluye no solo nuestro medio ambiente natural, sino también a nuestros congéneres, los seres humanos. Creo que la visión del mundo implícita en la física moderna es incongruente con la sociedad actual, que no refleja la armónica interrelación que observamos en la naturaleza. Para alcanzar tal estado de equilibrio sería necesaria una estructura social y económica radicalmente distinta: una revolución cultural en el verdadero sentido de la palabra. La supervivencia de toda nuestra civilización tal vez dependa de la capacidad que tengamos para efectuar ese cambio. Dependerá, en definitiva, de nuestra habilidad para adoptar algunas de las actitudes yin del misticismo oriental, de nuestra capacidad para experimentar la totalidad de la naturaleza y el arte de vivir en ella.

VUELTA A LA NUEVA FÍSICA
(apéndice a la segunda edición)

Desde la primera edición de *El Tao de la Física*, en diversas áreas de la física subatómica ha tenido lugar un progreso considerable. Como decía en el prefacio de esta edición, los nuevos descubrimientos no han venido a invalidar ninguno de los citados paralelismos con el pensamiento oriental sino que, al contrario, los han reforzado. En este apéndice voy a exponer los resultados más relevantes de las nuevas investigaciones llevadas a cabo en física atómica y subatómica hasta el verano de 1982.

Uno de los paralelismos más significativos entre la física y el misticismo oriental ha sido el descubrimiento de que los componentes de la materia y los fenómenos subyacentes con ellos relacionados están todos interconectados, hasta el punto de que no es posible considerarlos entes aislados, sino solo partes integrantes de un todo unificado. La idea de una «interrelación cuántica» básica, tratada con detalle en el capítulo 10, fue respaldada por Bohr y Heisenberg durante toda la historia de la teoría cuántica. Sin embargo, durante las dos últimas décadas ha merecido una renovada atención, al llegar los físicos a darse cuenta de que el universo puede estar interrelacionado de formas mucho más sutiles de lo que antes se había pensado. El nuevo tipo de interconexión recientemente observado no solo refuerza las similitudes existentes entre los conceptos de físicos y místicos, sino que también presenta la intrigante posibilidad de relacionar la física subatómica con la psicología de Jung y, tal vez, incluso con la parapsicología, arrojando al mismo tiempo cierta luz sobre el importante papel desempeñado por la probabilidad en la física cuántica.

En la física clásica, la probabilidad se emplea siempre que se desconozcan algunos detalles implicados en un fenómeno. Por ejemplo, cuando tiramos los dados, podríamos —en principio— predecir el resultado, si conociésemos todos los detalles mecánicos involucrados en la operación —la composición exacta de los dados, de la superficie sobre la que caen, etc.—. Estos detalles

reciben el nombre de variables locales porque están dentro de los objetos implicados. En la física subatómica las variables locales se representan por conexiones entre eventos separados espacialmente, a través de señales —partículas y redes de partículas— que siguen las leyes usuales de la separación espacial. Por ejemplo, ninguna señal puede transmitirse más rápidamente que la velocidad de la luz. Pero aparte de estas conexiones locales, han aparecido otras no locales; conexiones que son instantáneas y no pueden predecirse, en el momento actual, de un modo preciso y matemático.

Estas conexiones no locales son consideradas por algunos físicos como la misma esencia de la realidad cuántica. En la teoría cuántica los fenómenos individuales no siempre tienen una causa bien definida. Por ejemplo, el salto de un electrón de una órbita atómica a otra o la desintegración de una partícula subatómica pueden ocurrir de forma espontánea sin causa alguna que los provoque. Nunca podemos predecir cuándo y cómo va a suceder tal fenómeno; todo lo que podemos predecir es su probabilidad. Esto no quiere decir que los sucesos atómicos ocurran de una manera completamente arbitraria; significa tan solo que no los provocan causas locales. El comportamiento de cualquier parte está determinado por sus conexiones no locales con el conjunto, y dado que no conocemos estas conexiones con precisión, tenemos que sustituir el estrecho concepto clásico de causa y efecto por el concepto más amplio de causalidad estadística. Las leyes de la física atómica son leyes estadísticas, según las cuales las probabilidades de que ocurran hechos atómicos quedan determinadas por la dinámica de todo el sistema. Mientras que en la física clásica las propiedades y el comportamiento de las partes determinan las propiedades y el comportamiento de todo el conjunto, en la física cuántica la situación es inversa: el conjunto determina el comportamiento de las partes.

Así, la probabilidad se emplea en la física clásica y en la física cuántica por razones similares. En ambos casos existen variables «ocultas», desconocidas para nosotros, y esta ignorancia nos impide hacer predicciones exactas. No obstante, hay una diferencia crucial. Mientras que las variables ocultas en la física clásica son mecanismos locales, las de la física cuántica son no locales; son conexiones instantáneas con el universo como un todo. En el mundo cotidiano, macroscópico, las conexiones no locales carecen de importancia relativa, y por eso podemos hablar de objetos separados y formular las leyes que describen su comportamiento en términos de certeza. Pero, a medida que nos movemos hacia dimensiones más pequeñas, la influencia de las conexiones no locales se hace más fuerte, las seguridades

dejan paso a las probabilidades y cada vez se hace más difícil separar cualquier parte del universo de su totalidad.

La existencia de conexiones no locales y el papel fundamental desempeñado por la probabilidad es algo que Einstein nunca pudo aceptar. Este fue el tema de su histórico debate con Bohr celebrado en la década de los años veinte, en el que Einstein expresó su oposición a la interpretación de Bohr sobre la teoría cuántica con su famosa frase: «Dios no juega a los dados con el universo[1]». Al finalizar el debate, Einstein tuvo que admitir que la teoría cuántica, tal y como Bohr y Heisenberg la interpretaban, formaba un sistema de pensamiento consistente, pero él seguía convencido de que en el futuro se hallaría una interpretación determinista, basada en variables locales ocultas.

Lo esencial en la discrepancia entre Einstein y Bohr era la firme creencia del primero en alguna realidad externa, compuesta por elementos separados espacialmente independientes. En su tesón por demostrar que la interpretación de Bohr sobre la teoría cuántica era incongruente, Einstein ideó un experimento, conocido como el experimento Einstein-Podolsky-Rosen (EPR[2]). Tres décadas más tarde, John Bell desarrolló un teorema basado en el experimento EPR, que prueba que la existencia de variables locales ocultas es incongruente con las predicciones estadísticas de la teoría cuántica[3]. El teorema de Bell descargó un golpe contundente a la postura de Einstein, demostrando que el concepto de realidad como conjunto de partes separadas, unidas por conexiones locales, es incompatible con la teoría cuántica.

En años recientes el experimento EPR ha sido de nuevo repetidamente discutido y analizado por físicos interesados en la interpretación de la teoría cuántica, pues es ideal para mostrar la diferencia entre los conceptos clásicos y los cuánticos[4]. Para la finalidad aquí perseguida será suficiente con describir una versión simplificada de dicho experimento, en la que intervienen dos electrones en rotación y que está basada en una extensa explicación dada por David Bohrn[5]. Para comprender la esencia del asunto, antes es necesario entender algunas de las propiedades de la rotación (o espín) del electrón. La imagen clásica de una pelota de tenis en rotación no es del todo apropiada para describir el giro de una partícula subatómica. De algún modo, el espín de la partícula es una rotación alrededor del propio eje de la partícula, pero, como siempre ocurre en física subatómica, este concepto clásico es bastante limitado. En el caso de un electrón, su espín está restringido a dos valores: la cantidad de espín es siempre la misma, pero el electrón puede girar en una u otra dirección, en el sentido de las agujas del reloj o al contrario, pero siempre

sobre un eje de rotación dado. Los físicos a veces indican estos dos valores del espín como «arriba» y «abajo».

La principal propiedad de un electrón en rotación, que no puede entenderse en términos clásicos, es el hecho de que no siempre es posible definir con seguridad su eje de rotación. Al igual que los electrones muestran tendencias a existir en determinados lugares, también muestran tendencias a girar sobre determinados ejes. Sin embargo, cada vez que se efectúe una medición del eje de rotación, el electrón se hallará girando en una u otra dirección, pero siempre con ese eje. En otras palabras, el acto de la medición da a la partícula un eje determinado de rotación, pero antes de que la medición se realice no puede decirse que gire alrededor de un eje determinado; simplemente tiene una cierta tendencia, o potencialidad, a hacerlo así.

Una vez entendido esto sobre el espín de electrón, podemos examinar el experimento EPR y el teorema de Bell. En el experimento intervienen dos electrones rotando en direcciones opuestas, para que su espín total sea cero. Existen varios métodos experimentales para colocar dos electrones en esa situación, en que las direcciones de los espines individuales no se conocen con seguridad, pero el espín combinado de ambos electrones es definitivamente cero. Ahora, supongamos que estas dos partículas son impulsadas por separado mediante algún proceso que no afecte a sus rotaciones. A medida que se alejan en direcciones opuestas, su espín combinado seguirá siendo cero, y una vez separadas a una gran distancia, se miden sus espines individuales. Un aspecto importante del experimento es el hecho de que la distancia entre las dos partículas puede ser extraordinariamente grande: una partícula puede estar en Nueva York y la otra en París, o una en la Tierra y la otra en la Luna.

Supongamos ahora que el espín de la partícula 1 se mide a lo largo de un eje vertical y vemos que se encuentra «arriba». Dado que el espín combinado de las dos partículas es cero, esta medición nos dice que el espín de la partícula 2 debe estar «abajo». Así pues, al medir el espín de la partícula 1, obtenemos una medición indirecta del espín de la partícula 2 sin perturbar de ningún modo a esa partícula. El aspecto absurdo del experimento EPR es que el observador es libre de elegir el eje de medición. La teoría cuántica nos dice que las rotaciones de los dos electrones alrededor de cualquier eje serán siempre opuestas, pero existirán solo como tendencias, o potencialidades, antes de que se haga la medición. Una vez que el observador haya elegido un eje determinado y haya realizado la medición, este acto dará a ambas

partículas un cierto eje de rotación. El punto crucial es que podemos elegir nuestro eje de medición en el último minuto, cuando los electrones están ya muy separados. En el instante en que realicemos nuestra medición sobre la partícula 1, la partícula 2, que puede estar a kilómetros de distancia, adquirirá un espín definido a lo largo del eje elegido. ¿Cómo sabe la partícula 2 qué eje hemos escogido? No da tiempo a que reciba esa información mediante ninguna señal convencional.

Este es el punto clave del experimento EPR, y en esto es en lo que Einstein difería de Bohr. Según Einstein, dado que ninguna señal puede viajar a mayor velocidad que la de la luz, es imposible que la medición efectuada en un electrón determine instantáneamente la dirección del espín del otro electrón, a miles de kilómetros de distancia. Según Bohr, el sistema bipartícula forma un todo indivisible —aunque estas partículas se hallen separadas por una gran distancia— y, como un todo, no puede analizarse en términos de partes independientes. Incluso si los dos electrones están muy separados en el espacio, se hallarán no obstante unidos por conexiones instantáneas, no locales. Estas conexiones no son señales en el sentido einsteiniano; trascienden nuestras convencionales ideas sobre la transferencia de información. El teorema de Bell apoya la postura de Bohr y demuestra rigurosamente que el concepto de Einstein de una realidad física consistente en elementos independientes, separados espacialmente, es incompatible con las leyes de la teoría cuántica. En otras palabras, el teorema de Bell demuestra que el universo está fundamentalmente interconectado, que es interdependiente e inseparable. Exactamente como el sabio budista Nagarjuna afirmaba, hace ya cientos de años:

> Las cosas derivan su ser y su naturaleza de su dependencia mutua y en sí mismas no son nada.

Las investigaciones que actualmente se están realizando en física tienden hacia la finalidad de unificar las dos teorías básicas en una completa de las partículas subatómicas. Todavía no ha sido posible formular esta teoría completa, pero tenemos varias teorías y modelos parciales que describen muy bien ciertos aspectos de los fenómenos subatómicos. En la actualidad existen en la física de las partículas dos tipos de teorías «cuántico-relativistas» que dan resultados satisfactorios en campos diferentes. Las primeras son el grupo de las teorías cuánticas del campo (ver el capítulo 14), que explican las interacciones electromagnéticas y las llamadas interacciones débiles; al

segundo tipo pertenece la llamada teoría de la matriz-S (ver el capítulo 17), que explica satisfactoriamente las interacciones fuertes. Un problema importante que aún está por resolver es la unificación de la teoría cuántica y la general de la relatividad en una teoría cuántica de la gravedad. Aunque los recientes progresos logrados en las teorías de la «supergravedad[6]» pueden representar un paso hacia la solución de este problema, todavía no se ha encontrado ninguna teoría totalmente satisfactoria.

Las teorías del campo cuántico, descritas con detalle en el capítulo 14, están basadas en el concepto del campo cuántico, ente fundamental que puede existir de forma continua, como campo, y en forma discontinua, como partículas —existen diferentes clases de partículas que se asocian con diferentes tipos de campos—. Estas teorías han venido a sustituir la idea de las partículas como objetos básicos por el concepto mucho más sutil de los campos cuánticos. No obstante, tratan también con entidades básicas y por lo tanto, en cierto sentido, son teorías semiclásicas, que no manifiestan la naturaleza cuántico-relativista de la materia subatómica en toda su extensión.

La electrodinámica cuántica, primera de las teorías del campo cuántico, debe su éxito al hecho de que las interacciones electromagnéticas son muy débiles y por ello hacen posible mantener, en cierto grado, la distinción clásica entre la materia y las fuerzas de interacción. Lo mismo ocurre con las teorías del campo que tratan con interacciones débiles. De hecho, esta similitud entre las interacciones electromagnéticas y las débiles se ha visto recientemente muy reforzada con el desarrollo de un nuevo tipo de teorías del campo cuántico, llamadas teorías *gauge*, lo cual ha posibilitado la unificación de ambas interacciones. En la teoría unificada resultante —conocida como la teoría de Weinberg-Salam por los nombres de sus dos creadores principales, Steven Weinberg y Abdus Salam— las dos interacciones permanecen distintas, pero llegan a estar entrelazadas matemáticamente y se hace referencia a ellas de forma colectiva como interacciones «electrodébiles[7]».

El método de la teoría *gauge* se ha aplicado también a las interacciones fuertes mediante el desarrollo de una teoría del campo llamada cromodinámica cuántica (QCD, por sus siglas en inglés), y muchos físicos están ahora tratando de lograr la «gran unificación» de la QCD con la teoría de Weinberg-Salam[8]. Sin embargo, el empleo de la teoría *gauge* para describir las partículas de fuerte interacción es bastante problemático. Las interacciones entre hadrones son tan fuertes que la diferenciación entre partículas y fuerzas se hace borrosa y, por ello, la QCD no ha tenido mucho éxito en la descripción de los procesos que incluyen partículas de interacción fuerte. Solo funciona

en unos pocos fenómenos muy especiales —los llamados procesos de dispersión «profundamente inelásticos»— en los que las partículas se comportan, por razones todavía no muy bien comprendidas, de un modo similar a como lo hacen los objetos clásicos. Pese a los muchos y grandes esfuerzos realizados, los físicos no han podido aplicar la QCD más allá de esta estrecha gama de fenómenos, y las esperanzas que inicialmente despertó como estructura teórica para las propiedades de las partículas de interacción fuerte, hasta ahora, no se han cumplido[9].

La cromodinámica cuántica es la formulación matemática actual del modelo del quark (ver el capítulo 16), considerándose los campos asociados con los quarks y refiriéndose el «cromo» a la propiedad de color de estos campos de quarks. Como todas las teorías *gauge*, la QCD se ha modelado a través de la electrodinámica cuántica (QED, por sus siglas en inglés). Mientras que en la QED las interacciones electromagnéticas son mediadas por el cambio de fotones entre partículas cargadas eléctricamente, en la QCD las interacciones fuertes lo son por el cambio de «gluones» entre quarks coloreados. Los gluones (del inglés *glue*, «cola») no son verdaderas partículas, sino una especie de cuantos que actúan como pegamento, uniendo a los quarks para formar mesones y bariones[10].

Durante la última década el modelo del quark tuvo que ser desarrollado y refinado considerablemente, pues se descubrieron muchas partículas nuevas en los experimentos de colisión con energías cada vez mayores. Como se describió en el capítulo 16, a cada uno de los tres quarks postulados inicialmente y etiquetados con los calificativos de «arriba», «abajo» y «extraño» fue necesario considerarlo en tres colores diferentes, y luego apareció un cuarto quark, también en tres colores, que fue etiquetado como «encanto». Más recientemente, dos nuevos calificativos fueron añadidos al modelo: *t* de *top*, «el de arriba» y *b* de *bottom*, «el de abajo», o, más poéticamente, de *true*, «verdadero» y *beautiful*, «hermoso», lo cual eleva el número total de quarks a dieciocho —seis calificativos o sabores y tres colores—. Algunos físicos, y no me sorprende, han encontrado este elevado número de «ladrillos básicos» muy poco atractivo, sugiriendo que ha llegado el momento de pensar en un número más reducido de componentes «verdaderamente elementales» para los quarks…

Mientras toda esta teorización y construcción del modelo seguía, los experimentadores continuaron buscando tres quarks, pero jamás fueron capaces de detectar ninguno, y esta persistente ausencia de quarks libres se ha convertido en el principal problema del modelo del quark. En la estructura de

la QCD, a este fenómeno se le dio el nombre de confinamiento del quark, debido a la idea de que los quarks están, por alguna causa, permanentemente confinados dentro de los hadrones y por consiguiente nunca podrán verse. Se han propuesto varios mecanismos que justifiquen el confinamiento de los quarks, pero hasta la fecha no se ha formulado ninguna teoría consistente al respecto.

Esta es, pues, la situación actual del modelo del quark: para justificar los modelos observados en el espectro del hadrón, serían necesarios, al menos, dieciocho quarks y ocho gluones; ninguno de estos ha sido observado como partículas libres y su existencia como componentes físicos del hadrón lleva a serias dificultades teóricas; se han desarrollado diversos mecanismos para explicar su permanente confinamiento, pero ninguno de ellos representa una teoría dinámica satisfactoria, mientras que la QCD, la estructura teórica del modelo del quark, puede aplicarse solo a una gama muy estrecha de fenómenos. Sin embargo, pese a todas estas dificultades, la mayoría de los físicos aún mantienen la idea de los «ladrillos básicos», tan profundamente arraigada en nuestra tradición científica occidental.

Los descubrimientos más impresionantes realizados en la física de las partículas quizá hayan tenido lugar recientemente en la teoría de la matriz-S y en el enfoque de la «tira de bota» (ver los capítulos 17 y 18), que no aceptan ningún tipo de entidades fundamentales, sino que intentan comprender la naturaleza mediante su autoconsistencia. En este libro he dejado claro que considero la filosofía de la «tira de bota» como la culminación del pensamiento científico actual, y he hecho hincapié también en que es la que más se acerca al pensamiento oriental, tanto en su filosofía general como en su representación específica de la materia. Al mismo tiempo, constituye un enfoque muy difícil que es, en la actualidad, seguido por solo una pequeña minoría de físicos. Para la mayor parte de ellos, la filosofía de la «tira de bota» resulta demasiado extraña a sus formas tradicionales de pensamiento para que puedan apreciarla con seriedad, y esta falta de apreciación incluye también la teoría de la matriz-S. Resulta curioso y muy significativo el hecho de que, pese a que todos los físicos de las partículas emplean los conceptos básicos de esta teoría cada vez que analizan los resultados de los experimentos de dispersión y los comparan con sus predicciones teóricas, ni siquiera un solo premio Nobel se le ha concedido a ninguno de los sobresalientes físicos que en las últimas décadas contribuyeron al desarrollo de la teoría de la matriz-S.

El mayor de los retos de la teoría de la matriz-S y de la «tira de bota» ha sido explicar la estructura de las partículas subatómicas. Aunque nuestra actual comprensión del mundo subatómico excluye la existencia de quarks como partículas físicas, no hay duda de que los hadrones presentan simetrías de quark que habrán de explicarse con alguna teoría sobre las interacciones fuertes. Hasta hace poco tiempo el enfoque de la «tira de bota» no podía interpretar estas desconcertantes similitudes, pero en los últimos seis años se ha dado un mayor avance en la teoría de la matriz-S. Así, se ha llegado a una teoría de la «tira de bota» que puede explicar la estructura del quark sin necesidad de postular la existencia de quarks físicos. Además, la nueva teoría de la «tira de bota» arroja cierta luz sobre algunas cuestiones no comprendidas anteriormente[11].

Para entender la esencia de este nuevo descubrimiento es necesario aclarar el significado de la estructura del quark dentro del contexto de la teoría de la matriz-S. Mientras que en el modelo del quark las partículas se representan esencialmente como bolas de billar que contienen bolas de billar más pequeñas, el método de matriz-S, holístico y totalmente dinámico, considera las partículas como patrones de energía interrelacionados en un continuo proceso universal, como correlaciones o interconexiones entre varias partes de un tejido cósmico inseparable. En este contexto, el término *estructura del quark* se refiere al hecho de que la transmisión de energía y el flujo de información en esta red de sucesos transcurre por líneas bien definidas, produciendo la dualidad asociada con los mesones y la triplicidad asociada con los bariones. Este es el equivalente dinámico de la afirmación de que los hadrones se componen de quarks. En la teoría de la matriz-S no existen entidades diferentes ni ladrillos básicos; tan solo hay un flujo de energía que muestra ciertos modelos bien definidos.

La cuestión es: ¿cómo surgen los modelos concretos de quarks? El elemento clave de la nueva teoría de la «tira de bota» es la idea del orden como un aspecto nuevo e importante de la física de las partículas. Orden, en este contexto, quiere decir orden en la interconexión de los procesos subatómicos. Existen diversas formas en las que las reacciones de las partículas pueden interconectarse y, por consiguiente, podrán definirse distintas categorías de orden. El lenguaje de la topología —muy conocido por los matemáticos pero nunca antes aplicado a la física de las partículas— es el que se emplea para clasificar estas categorías de orden. Una vez incorporado este concepto del orden a la estructura matemática de la teoría de la matriz-S, solo unas pocas categorías especiales de relaciones ordenadas resultan ser

compatibles con las propiedades conocidas de la matriz-S. Estas categorías de orden son precisamente los modelos de quarks observados en la naturaleza. Así pues, la estructura del quark aparece como una manifestación del orden y como una necesaria consecuencia de su consistencia, sin necesidad de postular a los quarks como componentes físicos de los hadrones.

La aparición del orden como concepto nuevo y central en la física de las partículas no solo ha generado un mayor adelanto en la teoría de la matriz-S, sino que puede tener consecuencias de gran alcance en la totalidad de la ciencia. En la actualidad, el orden en la física subatómica es aún algo misterioso y no del todo explorado. Sin embargo, es curioso advertir que, al igual que los tres principios de la matriz-S, la noción del orden desempeña un papel muy básico en ese enfoque científico de la realidad y constituye un aspecto crucial de nuestros métodos de observación. La capacidad de reconocer el orden parece ser un aspecto esencial de la mente racional; toda percepción de un modelo es, de alguna manera, la percepción de un orden. La clarificación del concepto de orden en un campo de investigación donde los esquemas de materia y mente se están reconociendo cada vez más como reflejos uno del otro promete abrir fascinantes fronteras del conocimiento.

Según Geoffrey Chew, iniciador de la idea de la «tira de bota» y que ha sido la fuerza unificante y el líder filosófico de la teoría de la matriz-S durante las dos últimas décadas, la expansión del enfoque de la «tira de bota» más allá de los hadrones puede llevar a la posibilidad sin precedentes de vernos obligados a incluir explícitamente en nuestras futuras teorías de la materia el estudio de la conciencia humana. Ese «paso futuro —escribía Chew—, sería algo inmensamente más profundo que cualquier otro componente de la “tira de bota” de los hadrones […]. Nuestro actual esfuerzo con la “tira de bota” puede por ello constituir sencillamente el anticipo de una forma completamente nueva del trabajo intelectual humano».

Desde que escribió estas palabras, hace casi quince años, los nuevos descubrimientos realizados en la teoría de la matriz-S han llevado a Chew mucho más cerca de tratar con la conciencia de un modo explícito. Además, no es el único físico que se ha movido en esta dirección. Uno de los más emocionantes descubrimientos realizados en las últimas investigaciones ha sido una nueva teoría propuesta por David Bohrn, el físico que quizá ha ido más lejos que ningún otro en el estudio de las relaciones existentes entre la conciencia y la materia, dentro de un contexto científico. El enfoque de Bohrn es mucho más general y ambicioso que la actual teoría de la matriz-S y puede considerarse como un intento de unir mediante la «tira de bota» el concepto

de espacio-tiempo con otros conceptos básicos de la teoría cuántica, a fin de llegar a una teoría de la materia cuántico-relativista y congruente[12].

El punto de partida de Bohrn, como ya indiqué en el capítulo 10, es la idea de una «totalidad irrompible», considerando que las conexiones no locales evidenciadas en el experimento EPR son un aspecto esencial de esa «totalidad». Las conexiones no locales parecen ser ahora la fuente de la formulación estadística de las leyes de la física cuántica, pero Bohrn quiere ir más allá de la probabilidad y explorar el orden que él considera inherente al entretejido cósmico de relaciones a un nivel más profundo, «no manifestado». A esto lo llama un orden «implícito» o «envuelto», en el que las interconexiones del conjunto no tienen nada que ver con la localización en el espacio y el tiempo, sino que exhiben una cualidad totalmente diferente: la de su «envoltura».

Bohrn utiliza el holograma como una analogía para este orden implícito, por su propiedad de que cada una de las partes, en cierto sentido, contiene al conjunto[*]. Si se ilumina cualquier parte de un holograma, se reconstruirá la imagen completa, aunque muestre menos detalle que la lograda con un holograma completo. En opinión de Bohrn, el mundo real está estructurado según los mismos principios generales, y el conjunto se halla implícito en cada una de sus partes.

Bohrn se da cuenta de que la analogía del holograma es demasiado limitada para emplearse como modelo científico del orden implícito a nivel subatómico y, a fin de expresar la naturaleza esencialmente dinámica de la realidad, a este nivel ha inventado el término *holomovimiento* como base de todas las entidades manifestadas. El holomovimiento, según él, es un fenómeno dinámico del que fluyen todas las formas del universo material. La finalidad de su enfoque es estudiar el orden implícito en este holomovimiento, no ocupándose de la estructura de los objetos, sino más bien de la estructura del movimiento, teniendo así en cuenta tanto la unidad como la naturaleza dinámica del universo.

Para Bohrn, el espacio y el tiempo son formas que fluyen del holomovimiento y que se hagan también envueltos en su orden. Cree que la comprensión del orden implícito no solo llevará a una más profunda comprensión de la probabilidad en la física cuántica, sino que también hará posible hallar las propiedades básicas del espacio-tiempo relativista. De este modo, la teoría del orden implícito facilitaría una base común para la teoría cuántica y la teoría de la relatividad.

Para comprender el orden implícito, ha creído necesario considerar la conciencia como un rasgo esencial del holomovimiento y tenerla explícitamente en cuenta en su teoría. Considera la mente y la materia interdependientes y correlacionadas, pero no conectadas de forma causal. Ambas están mutuamente envolviendo proyecciones de una realidad superior, que no es ni materia ni conciencia.

En la actualidad, la teoría de Bohrn se encuentra aún en etapa de ensayo y, aunque está desarrollando un formulismo matemático que incluye matrices y topología, la mayor parte de sus afirmaciones son más cualitativas que cuantitativas. No obstante, parece darse una intrigante relación, incluso en esta etapa preliminar, entre su teoría del orden implícito y la teoría de la «tira de bota» de Chew. Ambos enfoques están basados en la misma visión del mundo como un entretejido dinámico de relaciones; los dos atribuyen un papel central al concepto del orden; ambos utilizan matrices para representar el cambio y la transformación, y la topología para clasificar las categorías de orden.

Finalmente, ambos enfoques reconocen que la conciencia puede ser un aspecto esencial del universo que deberá incluirse en la futura teoría de los fenómenos físicos. Esa teoría futura puede muy bien surgir de la fusión de las teorías de Bohrn y Chew, pues ambas representan dos de los enfoques más imaginativos, más filosóficos y más profundos efectuados sobre la realidad física.

EL FUTURO DE LA NUEVA FÍSICA
(apéndice a la tercera edición)

La visión

El origen de *El Tao de la Física* fue una consecuencia de la magnífica experiencia que tuve en la playa de Santa Cruz durante el verano de 1969, ya descrita en el prefacio a la primera edición.

Un año más tarde me fui de California para continuar mis investigaciones en el Imperial College de Londres. Con la intención de ilustrar mi experiencia de la danza cósmica ocurrida en la playa, antes de partir diseñé un fotomontaje que representaba a Shiva danzando, superpuesto sobre los rastros de las partículas que colisionan en el interior de una cámara de burbujas. Esta hermosa imagen simbolizaba para mí los paralelismos existentes entre la física y el misticismo, que justo estaba yo entonces empezando a descubrir. Un día, a finales de 1970, sentado en mi apartamento cercano al Imperial College de Londres, contemplaba el cuadro, cuando de pronto tuve una clara visión. Supe con una certeza total que algún día los paralelismos existentes entre la física moderna y el misticismo oriental serían del conocimiento público y también sentí que mi posición personal era muy favorable para explorar dichos paralelismos en profundidad y para escribir un libro sobre ellos.

Cinco años más tarde, en el otoño de 1975, *El Tao de la Física* era publicado por Wildwood House de Londres, y en enero de 1976 lo fue en Estados Unidos por Shambala Publications. Ahora, quince años más tarde, quiero hacer algunas preguntas: ¿se ha convertido mi visión en realidad? ¿Son hoy en día ciertos los paralelismos existentes entre la física moderna y el misticismo oriental del conocimiento público, o al menos llevan camino de serlo? ¿Sigue siendo válida mi tesis inicial, o necesita ser reformulada? ¿Cuáles han sido las principales críticas efectuadas a esa tesis y cómo

respondería yo a ellas hoy? Y finalmente: ¿cuál es en la actualidad mi punto de vista, cómo evoluciona y dónde creo yo que está el mayor potencial para futuros trabajos en este sentido? En este epílogo, voy a presentarte mis respuestas a estas preguntas, del modo más cuidadoso y honesto que pueda.

Impacto del libro

Durante estos quince años *El Tao de la Física* ha sido acogido con un entusiasmo que ha sobrepasado mis más audaces expectativas. Al escribirlo, algunos amigos de Londres me decían que una venta de diez mil ejemplares suponía ya un gran éxito; mientras tanto yo secretamente soñaba que tal vez se podrían vender cincuenta mil. Hoy, la cifra de ventas supera ya el millón de ejemplares en todo el mundo. El libro se ha traducido a más de una docena de idiomas diferentes, y están en marcha otras traducciones. Todas sus ediciones se siguen vendiendo bien.

Esta tremenda respuesta ha tenido un fuerte impacto en mi vida. A lo largo de estos quince años he viajado extensamente, he dado conferencias ante públicos profesionales y profanos en Estados Unidos, en Europa y en Asia y he comentado las implicaciones de la «nueva física» con hombres y mujeres de todos los estratos. Estas conversaciones me han ayudado enormemente a entender el amplio contexto cultural de mi trabajo y ahora creo que precisamente ese contexto constituye el principal motivo de la entusiasta acogida que recibió. Una y otra vez, he sido testigo de la gran respuesta que tanto el libro como mis conferencias han causado en la gente. Una y otra vez, hombres y mujeres me escriben o se acercan a mí después de mi conferencia para decirme: «Ha expresado usted algo que yo sentía desde hace ya mucho tiempo, sin haber sido nunca capaz de ponerlo en palabras». Generalmente no se trata de científicos, tampoco de místicos, sino de gente normal y, sin embargo, extraordinaria: artistas, abuelas, hombres de negocios, maestros, granjeros, enfermeras…, gentes de todas las edades, tanto jóvenes como mayores de cincuenta años. Algunos de ellos bastante mayores y entre las más emotivas cartas que he recibido se encuentran las de personas que superan los setenta años, los ochenta y, en dos o tres casos, los noventa.

¿Qué fibra hizo vibrar *El Tao de la Física* en todas esas personas? ¿Qué hay en el libro que ellas mismas hayan experimentado también? Creo que el reconocimiento de los paralelismos existentes entre la moderna física y el misticismo oriental constituye una parte de un movimiento mucho mayor, de

un cambio fundamental en nuestros puntos de vista sobre el mundo o sobre los paradigmas, tanto en la ciencia como en la sociedad, cambio que está teniendo lugar en la actualidad tanto en Europa como en Norteamérica y que nos lleva a una profunda transformación cultural. Esa transformación, ese profundo cambio de conciencia, es lo que tantas personas han sentido de un modo intuitivo durante las pasadas dos o tres décadas y ese es el motivo por el que *El Tao de la Física* ha hecho vibrar unas cuerdas tan generadoras de respuestas.

El cambio de paradigma

En mi segundo libro, *El punto crucial*, exploré las implicaciones sociales del actual cambio de paradigmas. Mi punto de partida para esta exploración fue el convencimiento de que los principales problemas de nuestro tiempo —la amenaza de la guerra nuclear, la devastación de nuestro medio ambiente, nuestra incapacidad para acabar con la pobreza y el hambre en el mundo, por nombrar solo los más urgentes— constituyen todos facetas de una misma y única crisis, que básicamente es una crisis de percepción. Se deriva del hecho de que la mayoría de nosotros —y especialmente nuestras más grandes instituciones sociales— apoyamos los conceptos y valores de una visión del mundo obsoleta, defendemos un paradigma que es inadecuado para tratar con los problemas de nuestro sobrepoblado e interconectado mundo. Al mismo tiempo, tanto investigadores en la vanguardia de la ciencia como diversos movimientos sociales y numerosas agrupaciones alternativas están desarrollando una nueva visión de la realidad que formará la base de nuestra futura tecnología, de nuestro sistema económico y de nuestras instituciones sociales.

Este paradigma que ahora está en retirada ha dominado nuestra cultura durante varios cientos de años, a lo largo de los cuales ha modelado nuestra sociedad occidental y ha tenido una significativa influencia sobre el resto del mundo. Este paradigma consiste en un cierto número de ideas y de valores, entre ellos el concepto del universo como un sistema mecánico compuesto de «ladrillos» elementales y básicos, el concepto del cuerpo humano como una máquina, el concepto de la vida como una competitiva lucha por la existencia, la creencia en un ilimitado progreso material que puede alcanzarse mediante el crecimiento económico y tecnológico y por último —aunque no lo menos importante— la creencia en que una sociedad en la que la mujer está en todos

los aspectos sometida al hombre es algo «natural». Durante las últimas décadas, todas estas suposiciones han comenzado a considerarse muy limitadas y muy necesitadas de una radical revisión.

Esta revisión ya está, en realidad, teniendo lugar. El nuevo paradigma que está ahora apareciendo puede describirse de diversas maneras. Podría considerarse un concepto holístico del mundo, una concepción del mundo que lo considera más como un todo integrado que como una reunión de sus partes. También podría tenerse por un concepto ecológico del mundo y este es el que yo prefiero. Empleo el término *ecológico* con un sentido más amplio y profundo del que normalmente se le confiere. La conciencia ecológica en este sentido profundo reconoce la interdependencia fundamental de todos los fenómenos y la integración de los individuos y las sociedades en los procesos cíclicos de la naturaleza. Esta profunda conciencia ecológica está ya apareciendo en diversas áreas de nuestra sociedad, tanto dentro como fuera del ámbito de la ciencia.

El paradigma ecológico es apoyado por la ciencia moderna, pero su raíz se halla en una percepción de la realidad que va más allá del esquema científico y que es consciente de la singularidad de toda vida, de la interdependencia de sus múltiples manifestaciones y de sus ciclos de cambio y transformación. En definitiva, esta profunda conciencia ecológica es la conciencia espiritual. Cuando se comprende el concepto del espíritu humano como el modo de conciencia en que el individuo se siente unido al cosmos como un todo, queda claro que la conciencia ecológica es espiritual en su esencia más profunda, por lo que no sorprende que la nueva visión de la realidad se encuentre en total armonía con las tradiciones espirituales.

Así, ahora puedo exponer con claridad el contexto más extenso de *El Tao de la Física*. La nueva física es parte integral de una nueva visión del mundo que está ahora apareciendo en todas las ciencias y también en la sociedad. Se trata de una visión del mundo ecológica, basada, en definitiva, en la conciencia espiritual. Por consiguiente, no es sorprendente que el nuevo paradigma, tal como se manifiesta en la física y en las demás ciencias, esté en armonía con muchas ideas de las tradiciones espirituales.

De este modo, mi tesis original es aún válida e incluso ha quedado más clara al ser reformulada y expuesta en un contexto conceptual más amplio. Al mismo tiempo, lo han confirmado recientes progresos experimentados en todas las ciencias, especialmente en biología y psicología, por lo que se asienta en la actualidad sobre una base mucho más firme. Cada vez es más evidente que el misticismo, o la filosofía eterna, como algunas veces se llama,

constituye el más consistente fondo filosófico para el nuevo paradigma científico.

Sin embargo, este punto de vista no es todavía generalmente reconocido, pero se está extendiendo, tanto dentro como fuera de la ciencia. En la misma onda que *El Tao de la Física* se han publicado, al menos, una docena de libros, con bastante éxito, sobre las relaciones existentes entre la ciencia moderna y las tradiciones místicas, y se han celebrado varias conferencias internacionales importantes sobre este tema en las que han intervenido distinguidos científicos, entre ellos varios a quienes les han concedido el Premio Nobel, al igual que eminentes representantes de las tradiciones espirituales. Mi mensaje original ha sido inmensamente ampliado con todos estos acontecimientos.

Influencia de Heisenberg y Chew

Quisiera ahora volver al nuevo paradigma de la ciencia y comentar sus principales características. Recientemente he intentado identificar un conjunto de criterios para el nuevo paradigma en su aplicación científica. Sugiero seis criterios: los dos primeros se refieren a nuestra visión de la naturaleza; los otros cuatro, a nuestra epistemología. Creo que estos seis criterios son características comunes al pensamiento del nuevo paradigma en todas las ciencias, pero dado que esto es un epílogo a *El Tao de la Física*, los ilustraré con ejemplos de la física, mencionando brevemente cómo se reflejan en las tradiciones del misticismo oriental.

Antes de tratar estos seis criterios, quiero reconocer con enorme gratitud la deuda que tengo con dos notables físicos que han sido mis principales fuentes de inspiración, influenciando de una manera decisiva mi pensamiento científico: Werner Heisenberg y Geoffrey Chew. Cuando era un joven estudiante, leí el clásico libro de Heisenberg sobre la historia y la filosofía de la física cuántica *La física y la filosofía*, que ejerció sobre mí una enorme influencia. Este libro ha sido mi compañero inseparable durante todos mis estudios y mi trabajo como físico, y hoy soy consciente de que fue Heisenberg quien sembró la semilla de *El Tao de la Física*. Tuve la suerte de conocerlo a principios de la década de los setenta. Mantuvimos largas conversaciones y una vez terminado *El Tao de la Física* lo repasé con él, un capítulo tras otro. Fue el apoyo y la inspiración personal de Heisenberg lo que

me hizo soportar aquellos difíciles años, cuando me decidí a desarrollar una idea radicalmente nueva.

Geoffrey Chew pertenece a una generación diferente a la de Heisenberg y los demás grandes fundadores de la física cuántica, pero no tengo la más mínima duda de que los futuros historiadores de la ciencia considerarán su contribución a la física del siglo XX tan significativa como la de ellos. Al igual que Einstein revolucionó el pensamiento científico con su teoría de la relatividad y Bohr y Heisenberg lo hicieron con su interpretación de la mecánica cuántica introduciendo cambios tan radicales que incluso Einstein se negó a aceptarlos, Chew ha dado el tercer paso revolucionario en la física de este siglo. Su teoría de la «tira de bota» unifica la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica en una teoría que representa una radical ruptura con todo el enfoque occidental hacia la ciencia básica.

Desde que conocí a Chew hace ya más de veinte años me sentí fascinado por su teoría y por su filosofía de la ciencia y he tenido la suerte de mantener una estrecha relación y un continuo intercambio de ideas con él. Nuestras frecuentes conversaciones han sido fuente de constante inspiración para mí y han dado forma, de manera definitiva, a toda mi visión de la ciencia.

Pensamiento del nuevo paradigma en la ciencia

Permíteme ahora volver a mis seis criterios sobre el pensamiento del nuevo paradigma en la ciencia. El primer criterio se refiere a la relación existente entre la parte y el todo.

En el paradigma clásico y mecanicista de la ciencia se creía que en cualquier sistema complejo la dinámica del todo podía comprenderse partiendo de las propiedades de las partes.

Una vez conocidas las partes —sus propiedades fundamentales y los mecanismos a través de los que interactúan—, se podía inferir, al menos en principio, la dinámica del conjunto. Así, la norma era: para comprender cualquier sistema complejo, es necesario descomponerlo en sus partes integrantes. Tales partes en sí mismas no podían explicarse más que descomponiéndolas en partes más pequeñas. Por mucho que se continúe con este proceso, siempre acabaremos, en algún punto, topándonos con los ladrillos básicos: elementos, sustancias, partículas, y así sucesivamente, cuyas propiedades no será ya posible explicar. Partiendo de esos ladrillos básicos y de sus leyes fundamentales de interacción, se pasaría entonces a elaborar el

conjunto más amplio, la totalidad, tratando de explicar su dinámica en función de las propiedades de las partes componentes. Esta visión la inició Demócrito en la antigua Grecia y tal fue el proceso formalizado por Descartes y Newton que ha constituido el punto de vista científico oficial hasta el siglo XX.

En el nuevo paradigma, la relación entre las partes y el todo es más simétrica. Creemos que aunque ciertamente las propiedades de las partes contribuyen a nuestra comprensión del todo, al mismo tiempo, esas propiedades de las partes solo podrán comprenderse totalmente a través de la dinámica de la totalidad. La totalidad es lo primario, y una vez comprendida su dinámica, de ella se podrán inferir, al menos en principio, las propiedades y los patrones de interacción de las partes. Este cambio en la relación entre la parte y la totalidad tuvo lugar dentro del campo científico, primero en la física, con el desarrollo de la teoría cuántica. En aquellos años, los físicos descubrieron con gran asombro que el concepto de parte —tal como átomo o partícula— en el sentido clásico no podía ya seguir utilizándose. La parte había dejado de estar perfectamente definida y mostraba propiedades diferentes, dependiendo del contexto experimental.

Poco a poco, los físicos comenzaron a darse cuenta de que la naturaleza, en el nivel atómico, no se presenta como un universo mecánico compuesto de ladrillos básicos, sino más bien como una red de relaciones, y que, finalmente, en esta telaraña interconectada, no existen en absoluto partes. De cualquier modo que la queramos llamar, una parte no es más que un modelo que presenta cierta estabilidad y, por lo tanto, capta nuestra atención. Heisenberg quedó tan impresionado por la nueva relación entre la parte y el conjunto que la utilizó como título para su autobiografía: *Der Teil und das Ganze*.

La conciencia de la unidad e interrelación mutua de todos los objetos y acontecimientos, la experiencia de todos los fenómenos como manifestaciones de una unidad básica es también la característica más común de la visión oriental del mundo. Podría decirse que constituye la propia esencia de dicha visión del mundo, al igual que de todas las tradiciones místicas. Todo se ve como interdependiente, inseparable, y como modelo transitorio de la misma realidad última.

El segundo criterio del nuevo paradigma en cuanto al pensamiento de la ciencia tiene que ver con un cambio de pensar en función de la estructura a hacerlo en función del proceso. En el antiguo paradigma se creía que existían estructuras fundamentales y, después, fuerzas y mecanismos a través de los cuales estas interactuaban, lo que originaba los diferentes procesos. En el

nuevo paradigma, pensamos que el proceso es lo primario, lo básico, y que cada estructura observada es una manifestación de un proceso subyacente.

Esta forma de pensar sobre los procesos llegó a la física con la teoría de la relatividad de Einstein. El reconocimiento de que la masa es una forma de energía eliminó de la ciencia el concepto de sustancia material, y con ello también el de una estructura fundamental. Las partículas subatómicas no están hechas de algún tipo de material sino que son modelos de energía. La energía, sin embargo, está relacionada con la actividad y con los procesos, y esto implica que la naturaleza de las partículas subatómicas sea, intrínsecamente, dinámica. Al observarlas, no vemos sustancia alguna ni tampoco estructura fundamental. Todo lo que vemos son modelos dinámicos que cambian constantemente uno dentro del otro, una continua danza de energía.

Esta idea de proceso es también una de las principales características de las tradiciones místicas orientales. La mayoría de sus conceptos, imágenes y mitos incluyen el tiempo y el cambio como elementos esenciales. Cuanto más se estudian los textos hindúes, budistas y taoístas, más evidente se hace que en todos ellos el mundo es concebido en función del movimiento, del flujo y del cambio. En realidad, fue la imagen de la danza cósmica de Shiva, en la que todas las formas se crean y se disuelven continuamente, la que me abrió los ojos a los paralelismos existentes entre la física moderna y el misticismo oriental.

En la física moderna, la imagen del universo considerado como una máquina se ha sustituido por la de un conjunto dinámico e interconectado, cuyas partes son esencialmente interdependientes y han de comprenderse como modelos de un proceso cósmico. Para definir un objeto en esta telaraña de relaciones interconectadas, nos tenemos que abrir camino entre las interconexiones —tanto conceptual como físicamente, mediante nuestros instrumentos de observación— y, al hacerlo, aislamos ciertos modelos y los interpretamos como objetos. Diferentes observadores podrán hacerlo de diferentes maneras. Por ejemplo, cuando se identifica un electrón, puede hacerse a través de algunas de sus conexiones con el resto del mundo, de distintas formas, empleando diversas técnicas de observación. De acuerdo con ello, el electrón puede aparecer como una partícula o como una onda. Lo que veamos dependerá de cómo miremos.

Fue Heisenberg quien descubrió el papel crucial desempeñado por el observador en la física cuántica. Según él, nunca podemos hablar de la naturaleza sin, al mismo tiempo, hablar de nosotros mismos. Y este será mi tercer criterio sobre el concepto del nuevo paradigma de la ciencia. Creo que

es válido para toda la ciencia moderna, y deseo llamarlo el paso de la ciencia objetiva a la ciencia *epistémica*. En el antiguo paradigma, se creía que las descripciones científicas eran objetivas, es decir, independientes del observador humano y del proceso del conocimiento. En el nuevo paradigma, creemos que la epistemología —la comprensión del proceso del conocimiento — debe incluirse explícitamente en la descripción de los fenómenos naturales. En este punto, no existe un consenso entre los científicos sobre cuál es la epistemología apropiada, pero sí existe un acuerdo emergente en el sentido de que esta tendrá que formar parte integral de toda teoría científica.

La idea de que el proceso del conocimiento constituye una parte integral de nuestra comprensión de la realidad es bien conocida por todo estudiante de misticismo. El conocimiento místico nunca podrá lograrse mediante una observación desapegada y objetiva, pues siempre exige una participación total, con todo nuestro ser. De hecho, los místicos van mucho más allá de la postura de Heisenberg. En la física cuántica no es posible ya separar al observador de lo observado, pero ambos son todavía perfectamente distinguibles; sin embargo, los místicos en meditación profunda llegan a un punto en el que la distinción entre lo observado y el observador desaparece totalmente, un punto en el que el sujeto se funde con el objeto.

El cuarto criterio sobre el pensamiento del nuevo paradigma es, tal vez, el más profundo de todos y al que más difícil resultará a los científicos habituarse. Se refiere a la antigua metáfora del conocimiento como un edificio.

Los científicos hablan de leyes *fundamentales*, refiriéndose al *fundamento*, o base, del edificio del conocimiento. El conocimiento debe edificarse sobre cimientos sólidos y firmes. Existen unos *ladrillos elementales* con los que está construida la materia, así como ecuaciones *fundamentales*, constantes *fundamentales* y principios *fundamentales* Esta metáfora del conocimiento como un edificio con sólidos cimientos se ha empleado por parte de la ciencia y la filosofía occidentales durante miles de años.

Sin embargo, los cimientos del conocimiento científico no siempre se han mantenido sólidos. Han variado con frecuencia, y en varias ocasiones se han hecho completamente añicos. Cada vez que tienen lugar grandes revoluciones científicas, se sienten tambalear los cimientos de la ciencia. Descartes escribió en su celebrado *Discurso del método* sobre la ciencia de su tiempo: «Considero que nada sólido puede edificarse sobre unos cimientos tan movedizos». Se dispuso entonces a edificar una nueva ciencia sobre cimientos firmes, pero trescientos años más tarde Einstein, en su autobiografía, escribía

el siguiente comentario sobre el desarrollo de la física cuántica: «Era como si quitaran la tierra de bajo mis pies, sin ver en lugar alguno cimientos firmes sobre los que poder edificar».

Así, una y otra vez, a lo largo de la historia de la ciencia se ha tenido la sensación de que los cimientos del conocimiento se tambaleaban, o incluso se derrumbaban. El actual cambio de paradigma en la ciencia vuelve a evocar tales sentimientos, pero puede que esta sea la última vez; no porque ya no vaya a haber más progresos o más cambios sino porque en el futuro no habrá cimientos. Quizá en la ciencia futura no creamos necesario edificar nuestros conocimientos sobre unos cimientos firmes, y entonces sustituyamos la metáfora de los cimientos por la metáfora de la red o de la telaraña. Al igual que vemos la realidad que nos rodea como una red de relaciones, también nuestras descripciones, conceptos, modelos y teorías formarán una red interconectada que representará a los fenómenos observados. En dicha red, no habrá nada primario ni secundario, no habrá cimientos.

La nueva metáfora del conocimiento como una red sin cimientos firmes es extremadamente incómoda para los científicos. Esto lo afirmó explícitamente por vez primera Geoffrey Chew hace treinta años en la llamada teoría de la «tira de bota». Según esta teoría, la naturaleza no puede reducirse a entidades fundamentales, como ladrillos básicos de la materia, sino que ha de entenderse en su totalidad, a través de la autoconciencia. Las cosas existen en virtud de sus relaciones mutuas, y toda la física ha de seguir únicamente el requisito de que sus componentes sean congruentes unos con otros y también con ellos mismos.

Durante los últimos treinta años, Chew ha utilizado el método de la «tira de bota» para desarrollar, junto con sus colaboradores, una teoría comprensiva de las partículas subatómicas, y al mismo tiempo una filosofía más general de la naturaleza. Esta teoría de la «tira de bota» no solo abandona la idea de los ladrillos básicos, componentes fundamentales de la materia, sino que no acepta entidad fundamental de ningún tipo —ya sean constantes, leyes o ecuaciones fundamentales—. Ninguna de las propiedades de una parte de este entramado es fundamental; todas ellas dependen de las propiedades de las otras partes, y la consistencia total de sus interrelaciones determinará la estructura de todo el entramado.

El hecho de que la filosofía de la «tira de bota» no acepte entidades fundamentales la convierte, en mi opinión, en uno de los sistemas más profundos del pensamiento occidental. Al mismo tiempo, resulta tan extraña a nuestras formas de pensamiento científico tradicionales que solo es seguida

por una pequeña minoría de físicos. Sin embargo, en el pensamiento oriental la negativa a aceptar entidades fundamentales es bastante común, sobre todo en el budismo. En realidad, podría decirse que el contraste entre «fundamentalistas» y partidarios de la «tira de bota» en la física de partículas tiene su paralelo en el contraste que se da entre las corrientes imperantes del pensamiento oriental y occidental. La reducción de la naturaleza a sus fundamentos básicos es un procedimiento que surgió en la filosofía griega junto con el dualismo entre el espíritu y la materia. La visión del universo como un entramado de relaciones sin entidades fundamentales, por otro lado, es una característica del pensamiento oriental. Halló su más clara expresión y su elaboración más trascendental en el budismo Mahayana, y cuando escribí *El Tao de la Física*, hice que su punto final fuera la estrecha correspondencia existente entre la física de la «tira de bota» y la filosofía budista.

Estos cuatro criterios sobre el pensamiento del nuevo paradigma que he presentado hasta aquí son todos independientes. La naturaleza se ve como una red dinámica de relaciones interconectadas que incluye al observador humano como componente integral. Las partes de esta red son modelos estables solo relativamente. Del mismo modo, los fenómenos naturales se describen en función de una red análoga de conceptos, en los que ninguna parte es más fundamental que otra.

Este nuevo esquema conceptual suscita de entrada una importante pregunta. Si todo se halla conectado con todo lo demás, ¿cómo vamos a entender alguna vez algo? Dado que todos los fenómenos naturales están, en definitiva, interconectados, para explicar cualquiera de ellos tendremos que comprender todos los demás, lo cual, obviamente, es imposible. Lo que convierte a la filosofía de la «tira de bota» en una teoría científica es el hecho de que pueda existir un conocimiento aproximado. Si resulta satisfactoria una comprensión aproximada de la naturaleza, podremos de este modo describir grupos de fenómenos, omitiendo otros menos relevantes. Así, muchos fenómenos pueden explicarse en función de unos cuantos y, de este modo, podemos entender de forma aproximada diferentes aspectos de la naturaleza sin tener que comprender todo de una vez.

Esta percepción es crucial en toda la ciencia moderna y representa mi criterio número cinco: el cambio desde una verdad absoluta hasta unas descripciones aproximadas. El paradigma cartesiano estaba basado en una creencia total en la seguridad del conocimiento científico, claramente establecida por Descartes. En el nuevo paradigma se reconoce que todas las teorías y conceptos científicos son limitados y aproximados. La ciencia nunca

podrá darnos una comprensión completa y definitiva. Los científicos no tratan con la verdad (en el sentido de una exacta correspondencia entre su descripción y los fenómenos descritos), sino con descripciones limitadas y aproximadas de la realidad. La más hermosa expresión que he hallado de este criterio es de Louis Pasteur: «La ciencia avanza a través de respuestas tentativas a una serie de preguntas cada vez más sutiles, que penetran cada vez más en la esencia de los fenómenos naturales».

Es interesante comparar de nuevo esta actitud científica moderna con las actitudes de los místicos, y aquí encontramos una de las más significativas diferencias entre los científicos y los místicos. Estos últimos, generalmente, no se interesan en el conocimiento aproximado. Lo que desean es el conocimiento absoluto, que implica la comprensión de la totalidad de la existencia. Siendo conscientes de la interrelación esencial que se da entre todos los aspectos del universo, se percatan de que explicar algo significa, finalmente, mostrar cómo está conectado con todo lo demás. Al resultar esto imposible, los místicos insisten con frecuencia en que ningún fenómeno aislado puede explicarse en su totalidad. En general no se interesan demasiado en dar explicaciones, sino en la experiencia directa y no intelectual de la unidad de todo.

Mi último criterio, finalmente, no expresa una observación, sino más bien una defensa. Creo que la supervivencia humana frente a la amenaza del holocausto nuclear y de la devastación de nuestro medio ambiente natural solo será posible si somos capaces de modificar, de forma radical, los métodos y los valores en los que nuestra ciencia y nuestra tecnología están basadas. Como último criterio, abogo por el cambio desde una actitud de dominio y control de la naturaleza, incluidos los seres humanos, a una actitud de cooperación y de no violencia.

Nuestra ciencia y nuestra tecnología se fundamentan en la creencia de que la comprensión de la naturaleza implica su dominio por parte del hombre. Aquí utilizo la palabra *hombre* a propósito, pues estoy hablando de una conexión muy importante entre la visión mecanicista del mundo por parte de la ciencia y el sistema patriarcal de valores: la tendencia masculina a querer controlarlo todo. En la historia de la ciencia y la filosofía occidentales esta conexión fue personificada por Francis Bacon, quien, en el siglo XVII, defendió el nuevo método empírico con términos apasionados y, a veces, francamente perversos. La naturaleza ha de ser «perseguida en sus errabundeos», escribió Bacon, «obligada al servicio» y «esclavizada». Se la debe «meter en cintura» y la meta del científico es «torturarla hasta que revele

sus secretos». Estas violentas imágenes de la naturaleza como si fuera una mujer a quien hubiera que torturar para que revelase sus secretos con la ayuda de dispositivos mecánicos nos recuerda a las torturas de mujeres durante los juicios por brujería que se celebraban en aquel siglo, juicios con los que Bacon estaba muy familiarizado, pues fue juez general del rey James I. Se trata de una relación crucial y temible entre la ciencia mecanicista y los valores patriarcales, que tuvo un tremendo impacto en el desarrollo posterior de la ciencia y de la tecnología.

Antes del siglo XVII, los fines de la ciencia eran la sabiduría, la comprensión del orden natural y el logro de vivir en armonía con dicho orden. En ese siglo tal actitud, que podríamos llamar ecológica, cambió al signo opuesto. Desde Bacon, el fin de la ciencia ha sido el conocimiento, que suele utilizarse para dominar y controlar la naturaleza, y hoy la ciencia y la tecnología se emplean principalmente para propósitos peligrosos, dañinos y antiecológicos.

Este cambio de visión del mundo que ahora está teniendo lugar habrá de incluir forzosamente un profundo cambio de valores; en realidad, un cambio completo de intención, pasando del intento de dominar y controlar la naturaleza a una actitud de cooperación y de no violencia. Este tipo de actitud profundamente ecológica es la actitud característica de las tradiciones espirituales. Los antiguos sabios chinos lo expresaron de forma muy bella: «Quienes siguen el orden natural siguen la corriente del *Tao*».

Críticas a El Tao de la Física

Me gustaría continuar comentando las críticas que ha tenido *El Tao de la Física* a lo largo de todos estos años. Una pregunta que con frecuencia me hacen es cómo aceptaron mis colegas de la comunidad física la tesis básica del libro. Como se podría esperar, la mayoría de los físicos fueron muy desconfiados al principio y algunos incluso se sintieron amenazados por las ideas en él vertidas, por lo que reaccionaron de un modo típico: con ira. Solían hacer comentarios insultantes y bastante virulentos, bien en revistas o en conversaciones privadas, lo cual reflejaba su propia inseguridad.

La razón por la que *El Tao de la Física* podría considerarse una amenaza para ellos estriba en una, muy extendida, mala interpretación sobre la naturaleza del misticismo. En la comunidad científica el misticismo ha sido, generalmente, concebido como algo vago, confuso, nebuloso y decididamente

poco científico. Ver sus preciadas teorías comparadas con esa actividad vaga, confusa y sospechosa resultó, naturalmente, bastante amenazante para muchos físicos.

Esta apreciación errónea del misticismo es, ciertamente, muy lamentable, pues al hojear los textos clásicos de las tradiciones místicas descubrimos que la profunda experiencia mística nunca se describe como algo vago o confuso, sino que, al contrario, siempre se asocia a la claridad. Las típicas metáforas que suelen describir dicha experiencia normalmente son: «levantar el velo de la ignorancia», «liberarse de la ilusión», «limpiar el espejo de la mente», «percibir la luz pura» o «alcanzar la plena conciencia» —todas ellas implican iluminación, claridad—. La experiencia mística trasciende el análisis intelectual, por eso su claridad es de un tipo diferente; sin embargo, no hay nada vago o confuso en estas experiencias. De hecho, la palabra *enlightenment*, «iluminación», utilizada en los países de habla inglesa para describir al siglo XVII europeo, época del nuevo enfoque científico y cartesiano, es uno de los términos más antiguos y más utilizados para describir la experiencia mística.

Afortunadamente, esta equivocada asociación del misticismo con elementos vagos y oscuros ya está cambiando. A medida que el pensamiento oriental ha empezado a interesar cada vez a más personas y la meditación ha dejado ya de considerarse algo ridículo o dudoso, el misticismo se está tomando más en serio, incluso entre la comunidad científica.

Permíteme ahora repasar algunas de las críticas más frecuentes efectuadas a *El Tao de la Física*, con las que he tropezado muchas veces durante los últimos quince años. Antes que nada, quiero decir que me complace que entre todas las críticas recibidas de compañeros físicos, en ninguna de ellas se haya encontrado defecto alguno en mi exposición de los conceptos de la física moderna. Algunos no están de acuerdo con la importancia que les doy a ciertos trabajos actuales, pero, que yo sepa, nadie ha hallado errores en *El Tao de la Física* Así que esa parte ha aguantado muy bien durante estos quince años.

Hay dos argumentos que se repiten más que ningún otro en las críticas efectuadas a mi tesis. El primero de ellos asegura que los hechos científicos de hoy quedarán invalidados por las investigaciones de mañana. ¿Cómo, entonces —pregunta dicha crítica— puede algo tan pasajero como un modelo o teoría de la física moderna compararse con la experiencia mística, que se supone atemporal y eterna? ¿No significaría esto que la verdad del misticismo permanecerá o se derrumbará según lo hagan las teorías de la física moderna?

Este argumento parece muy convincente, pero está basado en un concepto erróneo sobre la naturaleza de la investigación científica. Tiene razón en que en la ciencia no existe la verdad absoluta. Todas las afirmaciones científicas son descripciones limitadas y aproximadas, y estas descripciones aproximadas se van mejorando en trabajos posteriores y en pasos sucesivos. Sin embargo, cuando esto sucede, el conocimiento no cambia de forma arbitraria. Cada nueva teoría estará relacionada con la precedente de una forma bien definida, aunque en el caso de una revolución científica esto puede no ser evidente durante cierto tiempo. La nueva teoría nunca invalida la antigua de forma absoluta; sencillamente mejora su enfoque. Por ejemplo, la mecánica cuántica no vino a demostrar que la mecánica newtoniana estuviera equivocada; tan solo demostró que tenía ciertas limitaciones.

Ahora conviene advertir que cuando una teoría se extiende a nuevos dominios, cuando la nueva teoría viene a mejorar el enfoque del tema, no se abandonan todos los conceptos de la antigua teoría. Y en mi opinión, precisamente los conceptos de nuestras teorías actuales que se relacionan con las ideas de las tradiciones místicas son los que no quedarán invalidados, sino que permanecerán.

Y esto lo puedo aplicar incluso a la física newtoniana. Uno de los descubrimientos *clave* de Newton, tal vez el más importante y por supuesto uno de los más famosos, fue el hecho de que existe un orden uniforme en el universo. Según cuenta la leyenda, Newton advirtió en un súbito instante de intuición, cuando una manzana cayó del árbol, que la fuerza que atrajo la manzana hacia la Tierra es la misma fuerza que atrae a los planetas hacia el Sol.

Ese fue el punto de partida de la teoría de la gravedad newtoniana, y esa idea —la existencia de un orden uniforme en el universo— no quedó invalidada por la mecánica cuántica ni por la teoría de la relatividad. Al contrario, se vio confirmada e incluso potenciada por las nuevas teorías.

Del mismo modo, pienso que la unidad y la interrelación del universo y la naturaleza intrínsecamente dinámica de sus fenómenos naturales —los dos grandes temas de la física moderna— no quedarán invalidadas por futuras investigaciones. Se reformularán, y muchos conceptos de hoy se sustituirán mañana por un conjunto de conceptos diferentes. Pero dicha sustitución tendrá lugar de manera ordenada, y los temas básicos que utilizo en mi comparación con las tradiciones místicas se impondrán, creo, en lugar de verse invalidados. Esta creencia mía ya se está confirmando, no solo a través

de los nuevos avances de la física, sino también mediante los significativos avances logrados por la biología.

La segunda crítica, que también he oído repetidas veces, sostiene que los físicos y los místicos hablan de dos mundos diferentes. Los físicos se ocupan de la realidad cuántica, algo sin conexión con los fenómenos cotidianos, mientras que los místicos se ocupan precisamente de fenómenos que tienen lugar a una escala mayúscula, de cosas que no tienen nada que ver con el mundo de los cuantos.

Bueno. Antes que nada hemos de darnos cuenta de que la realidad cuántica no está en absoluto desconectada de los fenómenos a gran escala. Por ejemplo, uno de los fenómenos físicos más importantes del mundo corriente, la solidez de la materia, es consecuencia directa de ciertos efectos cuánticos. Por tanto, podemos confirmar este argumento sosteniendo que los místicos no se dedican explícitamente a la realidad cuántica, mientras que los físicos sí.

En lo referente al concepto de dos mundos diferentes, mi punto de vista es que solo hay un mundo —este imponente y misterioso mundo, como lo llama Carlos Castaneda—, pero esta única realidad tiene múltiples aspectos, múltiples dimensiones y niveles. Los físicos y los místicos se ocupan de aspectos distintos de la realidad. Los primeros exploran los niveles de la materia; los segundos, los niveles de la mente. Lo que tienen en común sus exploraciones, en ambos casos, sobrepasa la percepción sensorial ordinaria. Y, como Heisenberg nos enseñó, si la percepción no es ordinaria, la realidad tampoco lo es.

De este modo, nos encontramos con físicos que experimentan las interioridades de la materia ayudados de sofisticados instrumentos y místicos que experimentan las interioridades de la conciencia con el apoyo de sofisticadas técnicas de meditación. Ambos alcanzan un nivel de percepción no ordinario, y en estos niveles no ordinarios los modelos y principios de organización que observan parecen ser muy similares. La forma en que los modelos submicroscópicos están interrelacionados para los físicos refleja el modo en que los modelos macroscópicos están interrelacionados para los místicos. Y solamente cuando aislamos esos modelos macroscópicos en nuestro modo de percepción ordinaria los identificamos como objetos ordinarios e independientes.

Otra crítica, que con frecuencia se ha suscitado, se muestra de acuerdo en que los físicos y los místicos se aplican a niveles diferentes de la realidad, pero argumenta que el nivel de los místicos es espiritual, superior, y que

incluye el nivel inferior en el que ocurren los fenómenos físicos, mientras que el nivel físico no incluye al espiritual.

Para empezar, quisiera hacer la observación de que llamar superior a un nivel e inferior a otro es un residuo del pensamiento del antiguo paradigma —de nuevo la metáfora del edificio en lugar de la red—. Sin embargo, estoy de acuerdo en que la física no tiene nada que decir sobre otros niveles, o dimensiones de la realidad —vida, mente, conciencia, espíritu, etc.—. La física no tiene nada que decir sobre estos niveles, pero la *ciencia* sí.

Creo que el nuevo paradigma de la ciencia, para el que propongo mis seis criterios, ha encontrado su más apropiada formulación en la nueva teoría de vivir, en los sistemas de autoorganización surgidos a partir de la cibernética durante estas últimas décadas. Ilya Prigogine, Gregory Bateson, Humberto Maturana y Francisco Varela son algunos de los principales contribuyentes a esta teoría. Es una teoría que se aplica a organismos vivos individuales, a sistemas sociales y a ecosistemas, y promete llevarnos a una concepción unificada de la vida, de la mente, de la materia y de la evolución. El enfoque de estos sistemas confirma totalmente los paralelismos existentes entre la física y el misticismo y añade otros que van más allá del nivel de la física: el concepto del libre albedrío, los de la vida y la muerte, el de la naturaleza de la mente y otros más. Entre todos estos conceptos existe una profunda armonía, tal como se expresa en la teoría de los sistemas autoorganizados y sus correspondientes conceptos de las tradiciones místicas.

Evolución actual y posibilidades futuras

Así llegamos a la actual evolución y a las posibilidades futuras en la formulación de un nuevo paradigma científico. Desde que escribí *El Tao de la Física*, he sufrido un importante cambio de percepción en lo referente al papel de la física en esta evolución. Cuando empecé a estudiar el cambio de paradigma en las diversas ciencias, me di cuenta de que todo estaba basado en la concepción del mundo según la física newtoniana, y me pareció que la nueva física era el modelo ideal para los nuevos conceptos y métodos de otras disciplinas. Posteriormente, me he dado cuenta de que tal visión da a entender que el nivel físico es, de algún modo, más fundamental que otros. Hoy considero la nueva física, y sobre todo la teoría de la «tira de bota», un caso especial del enfoque de sistemas, que se ocupa de sistemas «no vivos». Aunque el cambio de paradigma en la física sigue teniendo un especial

interés, pues fue el primero en la ciencia moderna, la física ha perdido ya su papel como modelo para otras ciencias.

Por consiguiente, considero que la evolución futura de la tesis que presenté en *El Tao de la Física* no pasa tanto por posteriores exploraciones de los paralelismos existentes entre la física y el misticismo como por la extensión de estos paralelismos a otras ciencias. En realidad, esto se ha efectuado ya, y desearía mencionar algunos de estos trabajos. En lo que atañe a las similitudes entre el misticismo y la neurociencia, la mejor fuente que conozco es Francisco Varela, uno de los iniciadores de la teoría de los sistemas autoorganizados. Varela, junto con Evan Thomson, está escribiendo un libro sobre la contribución que la teoría budista sobre la mente puede suponer para la ciencia cognoscitiva. Mientras tanto, su obra *The Tree of Knowledge*, de la que es coautor Humberto Maturana, constituye la mejor exposición de sus ideas.

En psicología, se ha llevado a cabo un notable trabajo en la exploración de las dimensiones espirituales de la psicología transpersonal. Stanislav Grof, Ken Wilber, Frances Vaughan y muchos otros han publicado libros sobre este tema, muchos de ellos antes que *El Tao de la Física*, sin olvidar a Carl Gustav Jung.

En las ciencias sociales, la dimensión espiritual surgió con el ensayo de E. F. Schumacher *Economía budista*, publicado por primera vez a finales de los sesenta y que, desde entonces, ha sido explorado por muchos grupos y organizaciones alternativas, tanto en teoría como de un modo práctico. Estrechamente relacionada con estos movimientos, surgió una nueva forma de política orientada ecológicamente, conocida como política verde, que considero la manifestación política del cambio cultural hacia el nuevo paradigma. Los aspectos espirituales de este movimiento político los ha tratado Charlene Spretnak en su libro *Dimensión espiritual de la política verde*.

Finalmente, quisiera decir unas palabras sobre mi modo de ver el misticismo oriental, que también ha cambiado algo durante los últimos quince años. Ante todo, siempre estuvo claro para mí, y ya lo dije en *El Tao de la Física*, que los paralelismos del tipo que señalaba entre la física y el misticismo oriental podrían también aplicarse a las tradiciones místicas occidentales. Mi próximo libro, *Belonging to the Universe*, del que es coautor el hermano David Steindl-Rast, trata algunos de estos paralelismos. Además, ya no creo que en Occidente podamos adoptar las tradiciones espirituales orientales sin modificarlas de manera muy significativa a fin de adaptarlas a

nuestra cultura. Mis creencias se ven fortalecidas por las conversaciones que he mantenido con muchos maestros espirituales orientales, quienes no han podido comprender algunos aspectos cruciales del nuevo paradigma que está naciendo ahora en Occidente.

Por otro lado, creo también que nuestras propias tradiciones espirituales tendrán que sufrir algunos cambios radicales a fin de estar en armonía con los valores del nuevo paradigma. La espiritualidad que se corresponde a esta nueva visión de la realidad y que estoy aquí perfilando es muy posible que tenga un señalado carácter ecológico, orientada hacia la tierra y marcadamente pospatriarcal. Este tipo de espiritualidad la están desarrollando en la actualidad diferentes grupos y movimientos, tanto dentro como fuera de las religiones. Un ejemplo sería la espiritualidad centrada en la creación, promovida por Matthew Fox y sus colegas en el Holy Names College de Oakland (California).

Estos son tan solo algunos ejemplos de la evolución del nuevo paradigma. Mi contribución ha sido ofrecer una síntesis de su aparición y sus implicaciones sociales en *El punto crucial* y refinar más esa síntesis en colaboración con algunos notables colegas con quienes fundé una central de pensamiento ecológico, el Elmwood Institute (P. O. Box 5765, Berkeley, CA 94705).

Durante estos años he conocido a muchas personas extraordinarias con quienes estoy en deuda. De estos encuentros nacieron muchas amistades duraderas. Cuando, hace ya más de veinte años, decidí escribir *El Tao de la Física*, inicié un camino que entrañaba considerables riesgos profesionales, emocionales y económicos. Inicié este camino solo, al igual que muchos de mis amigos y colegas que hicieron lo mismo en sus respectivos campos. Hoy todos nos sentimos mucho más fuertes. Estamos inmersos en múltiples movimientos alternativos que forman parte de lo que yo llamo la «cultura emergente», multitud de grupos que representan diferentes facetas de la misma nueva visión de la realidad y que gradualmente se van uniendo para formar una poderosa fuerza de transformación social.

BIBLIOGRAFÍA

Alfven, H., *Worlds-Antiworlds* (W. H. Freeman, San Francisco, 1966).

Ashvaghosha, *The Awakening of Faith*, trad. D. T. Suzuki (Open Court, Chicago, 1900).

Aurobindo, *Guía del yoga integral* (Plaza & Janés, col. Realismo Fantástico, Barcelona, 1982).

—, *On Yoga II* (Aurobindo Ashram, Pondicherry, India, 1958).

Bohrn, D. y Hiley, B., «On the Intuitive Understanding of Nonlocality as Implied by Quantum Theory», *Foundations of Physics*, vol. 5 (1975).

Bohr, N., *Nuevos ensayos sobre física atómica y conocimiento humano* (Aguilar, Madrid, 1970).

—, *Atomic Physics and the Description of Nature* (Cambridge University Press, Londres, 1934).

Capek, M., *The Philosophical Impact of Contemporary Physics* (D. Van Nostrand, Princeton, Nueva Jersey, 1961).

Castaneda, C., *Las enseñanzas de don Juan* (Fondo de Cultura Económica, México, 1974).

—, *Una realidad aparte* (Fondo de Cultura Económica, México, 1974).

—, *Viaje a Ixtlán* (Fondo de Cultura Económica, México, 1975).

—, *Relatos de poder* (Fondo de Cultura Económica, México, 1976).

Chew, G. F., «Bootstrap: A Scientific Idea?», *Science*, vol. 161 (23 de mayo de 1968), págs. 762-765.

—, «Hadron Bootstrap: Triumph or Frustration?», *Physics Today*, vol. 23 (octubre de 1970), págs. 23-28.

—, *Impasse for the Elementary Particle Concept*, The Great Ideas today (William Benton, Chicago, 1974).

Chew, G. F., Gell-Mann, M. y Rosenfeld, A. H. «Strongly Interacting Particles», *Scientific American*, vol. 210 (febrero de 1964); págs. 74-83. Una traducción de este artículo figura en el libro *Partículas Elementales* (Prensa Científica, Barcelona, 1984).

Chuang Tzu, trad. James Legge, adaptado por Clae Waltham (Ace Books, Nueva York, 1971).

—, *Interioridades* (Monte Ávila Editor, Caracas, 1972).

Coomaraswamy, A. K., *Induismo y budismo* (Taurus, Madrid, 1977).

—, *The Dance of Shiva* (The Nooday Press, Nueva York, 1969).

—, Crosland, P. (ed.), *The Science of Maller* (History of Science Readings, Penguin Books, Inglaterra, 1971).

David-Neel, A., *Místicos y magos del Tíbet* (Espasa-Calpe, Madrid).

Einstein, A., *Essays in Science* (Philosophical Library, Nueva York, 1934).

—, *Mi visión del mundo* (Tusquets, Barcelona, 1984).

—, *La teoría de la relatividad* (Alianza Editorial, Madrid, 1984).

Eliot, C., *Japanese Buddhism* (Routledge & Kegan Paul, Londres, 1959).

Feynman, R. P., Leighton, R. B. y Sands, M., *The Feynman Lectures on Physics* (Addison-Wesley, Reading, Mass., 1966).

Ford, K. W., *The World of Elementary Particles* (Blaisdell, Nueva York, 1965).

Fung Yu-Lan, *A Short History of Chinese Philosophy* (Macmillan, Nueva York, 1958).

Lama Anagarika Govinda, *Fundamentos de la mística tibetana* (Eyras, Madrid, España).

—, «Logic and Symbol in the Multy-Dimensional Conception of the Universe», *The Middle Way* (Buddhist Society, Londres), vol. 36 (febrero de 1962), págs. 151-155.

Guthrie, W. K. C., *Los filósofos griegos* (Fondo de Cultura Económica, México, 1981).

Heisenberg, W., *Physics and Philosophy* (Allen & Unwin, Londres, 1963).

—, *Physics and Beyond* (Allen & Unwin, Londres, 1971).

Herrigel, E., *El zen en el arte del tiro con arco* (Kier, Buenos Aires).

Hoyle, F., *The Nature of the Universe* (Penguin Books, Inglaterra, 1965).

—, *Frontiers of Astronomy* (Heinemann, Londres, 1970).

Hume, R. E., *The Thirteen Principal Upanishads* (Oxford University Press, Londres, 1934).

James, W., *The Varieties of Religious Experience* (Fontana, Londres, 1971).

Jeans, J., *The Growth of Physical Science* (Cambridge University Press, Londres, 1951).

Kapleau, P., *Los tres pilares del zen*.

Keynes, G. (ed.), *Blake Complete Writings* (Oxford University Press, Londres, 1969).

Kirk, G. S., *Heraclitus* (Cambridge University Press, Londres, 1970).

Korzybski, A., *Science and Sanity* (The International Non Aristotelian Library, Conn., U. S. A., 1958).

Krishnamurti, J., *Freedom from the Known*, editado por Mary Lutyens (Gollanez, Londres, 1969).

Chuan-Tzu, trad. W. A. Rickett (Hong Kong University Press, 1965).

Lao Tzu, *Tao Te Ching*, trad. Ch'u Ta-Kao (Allen & Unwin, Londres, 1970).

—, *Tao Te Ching*, trad. Gia-Fu Feng y Jane English (Wildwood House, Londres, 1972).

Leggett, T., *A First zen Reader* (C. E. Tuttle, Rutland, Vermont, 1972).

Lovell, A. C. B., *The Individual and the Universe* (Oxford University Press, Londres, 1958).

—, *Our Present Knowledge of the Universe* (Manchester University Press, 1967).

Maharishi Mahesh Yogi, *Bhagavad Gita*, capítulos 1-6 (Penguin Books, Inglaterra, 1973).

Mascaro, J., *The Bhagavad Gita* (Penguin Books, Inglaterra, 1970).

—, *The Dhammapada* (Penguin Books, Inglaterra, 1973).

Mehra, J., (ed.), *The Physicist's Conception of Nature* (D. Reidel, Dordrecht, Holanda, 1973).

Muira, I. y Fuller-Sasaki, R., *The zen Koan* (Harcourt Brace, Nueva York, 1965).

Muller, F. M., (ed.), *Sacred Books of the East* (Oxford University Press), vol, XLIX, Buddhist Mahayana Sutras.

Murti, T. R. V., *The Central Philosophy of Buddhism* (Allen & Unwin, Londres, 1955).

Needham, J., *Grandeza y miseria de la tradición científica china* (Anagrama, Barcelona, 1977).

Oppenheimer, J. R., *La ciencia y el conocimiento común* (C. S. I. C., Madrid, 1955).

Radhakrishnan, S., *Indian Philosophy* (Allen & Unwin, Londres, 1951).

Reps, P., *Zen Flesh, Zen Bones* (Anchor Books, Nueva York).

Riss, N. W., *Three Ways of Asian Wisdom* (Simon and Schuster, Nueva York, 1966).

Russell, B., *Historia de la filosofía occidental* (Espasa Calpe, Madrid, 1978).

Sachs, M., «Space Time and Elementary Interactions in Relativity», *Physics Today*, vol. 22 (febrero de 1969), págs. 50-60.

Sciama, D. W., *The Unity of the Universe* (Faber and Faber, Londres, 1959).

Schilpp, P. A., (ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (The Library of Living Philosophers, Evanston, Illinois, 1949).

Stace, W. T., *The Teachings of the Mystics* (New American Library, Nueva York, 1960).

Stapp, H. P., «S-matrix Interpretation of Quantum Theory», *Physical Review*, vol. D3 (15 de marzo de 1967). Págs. 1303-1320.

Suzuki, D. T., *Introducción al budismo zen* (Mensajero, Bilbao, 1979).

—, *Outlines of Mahayana Buddhism* (Schocken Books, Nueva York, 1963).

—, *On Indian Mahayana Buddhism*, ed. Edward Conze (Harper & Row, Nueva York, 1968).

—, *Zen and Japanese Culture* (Bollingen Series, Nueva York, 1959).

—, *Studies in the Lankavatara Sutra* (Roulledge & Kegan Paul, Londres, 1952).

—, Prefacio de B. L. Suzuki, *Mahayana Buddhism* (Allen & Unwin, Londres, 1959), pág. 30.

Thirring, W., «Urbausteine der Materie», *Almanach der Österreichischen Akademie der Wissenschaften*, vol. 118 (1968), págs. 153-162.

Vivekananda, S., *Jnana Yoga* (Advaita Ashram, Calcula, India, 1962).

Watts, A. W., *El camino del zen* (Edhasa, Barcelona, 1978).

Weisskopf, V. F., *Physics in the Twentieth Century Selected Essays* (M. I. T. Press, Cambridge, Mass., 1972).

Weyl, H., *Philosophy of Mathematics and Natural Science* (Princeton University Press, 1949).

Whitehead, A. N., *The Interpretation of Science*, ensayos seleccionados editados por A. H. Johnson (Bobbs-Merrill, Indianapolis, N. Y., 1967).

Wilhelm, H., *Significado del I Ching* (Paidós, col. Orientalia, Buenos Aires, 1980).

Wilhelm, R., *I Ching* o *Libro de las mutaciones* (Edhasa, Barcelona, 1980).

—, *The Secret of the Golden Flower* (Routledge & Kegan Paul, Londres, 1972).

Woodward, F. L., (trad. y ed.), *Some Sayings of the Buddha according to the Pali Canon* (Oxford University Press, Londres, 1973).

Zimmer, H., *Myths and Symbols in Indian Art and Civilisation* (Princenton University Press, 1972).



Doctor en física teórica por la Universidad de Viena. Fritjof Capra ha trabajado como investigador en física subatómica en la Universidad de París, en la de California (U. C.) en Santa Cruz, en el acelerador lineal de Stanford, en el Imperial College y en el Laboratorio Lawrence Berkeley de la U. C. También ha sido profesor en la U. C. en Santa Cruz, en Berkeley y en la Universidad de San Francisco. Desde hace más de 30 años y, paralelamente a sus actividades de investigación y enseñanza, Capra ha estudiado en profundidad las consecuencias filosóficas y sociales de la ciencia moderna y sobre este tema imparte frecuentes seminarios y conferencias en diversos países.

El Tao de la Física no sólo ha sido un *best-seller* mundial, sino que inspiró e inició todo un estilo de investigación y un género literario que ha revolucionado la forma de contemplar dos campos de la actividad humana aparentemente muy distintos: la ciencia moderna y el misticismo oriental. Otras importantes obras suyas son: *Sabiduría Insólita*, *El Punto Crucial*, *Las Conexiones Ocultas*, *Pertenecer al Universo* y *La Trama de la Vida*.

Notas

[1] J. R. Oppenheimer, *Science and the Common Understanding* (Oxford University Press, Londres, 1954), págs. 8-9. <<

[2] N. Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge* (John Wiley & Sons, Nueva York, 1958), pág. 20. <<

[3] W. Heisenberg, *Physics and Philosophy* (Allen & Unwin, Londres, 1963), pág. 78. <<

[4] Ashvaghosa, *The Awakening of Faith*, D. T. Suzuki (Open Court, Chicago, 1900). <<

[5] *Brihad-aranyaka Upanishad*, 3.7.15. <<

[1] W. Heisenberg, *Physics and Philosophy* (Allen & Unwin, Londres, 1963), pág. 125. <<

[2] *Chuang Tzu*, trad. James Legge, adaptado por Clae Waltham (Ace Books, Nueva York, 1971), cap. 26. <<

[3] *Katha Upanishad*, 3.15. <<

[4] *Kena Upanishad*, 3. <<

[5] Citado en J. Needham, *Science and Civilisation in China* (Cambridge University Press, Londres 1956), vol. 11, pág. 85. <<

[6] W. James, *The Varieties of Religious Experience* (Fontana, Londres, 1971), pág. 374. <<

[7] B. Russell, *History of Western Philosophy* (Allen & Unwin, Londres, 1961), pág. 56. <<

[8] D. T. Suzuki, *On Indian Mahayana Buddhism*, ed. Edward Conze (Harper & Row, Nueva York, 1968), pág. 237. <<

[9] J. Needham, ob. cit., vol. 11, pág. 33. <<

[10] Del *Zenrin Kushu*, en I. Muira y R. Fuller Sasaki, *The zen Koan* (Harcourt-Brace, Nueva York, 1965), pág. 103. <<

[11] D. T. Suzuki, *Outlines of Mahayana Buddhism* (Schocken Books, Nueva York, 1963), pág. 235. <<

[12] Carlos Castaneda, *A Separate Reality* (*Una realidad aparte*) (Bodley Head, Londres, 1971), pág. 10. <<

[13] Lao Tzu, *Tao Te Ching*, trad. Ch'u Ta-Kao (Allen & Unwin, Londres, 1970), cap. 41. <<

[14] Ibíd., cap. 48. <<

[15] Chuang Tzu, ob. cit., cap. 13. <<

[16] P. Kapleau, *Three Pillars of zen* (*Los tres pilares del zen*) (Beacon Press, Boston, 1967), págs. 53-54. <<

[17] A. K. Coomaraswamy, *Hinduism and Buddhism* (*Hinduismo y budismo*) (Philosophical Library, Nueva York, 1943), pág. 33. <<

[18] A. W. Watts, *The Way of zen* (*El camino del zen*) (Vintage Books, Nueva York, 1957), pág. 183. <<

[19] *Ibíd.*, pág. 187. <<

[1] W. Heisenberg, *Physics and Philosophy* (Allen & Unwin, Londres, 1963), pág. 177. <<

[2] D. T. Suzuki, *On Indian Mahayana Buddhism*, ed. Edward Conze (Harper & Row, Nueva York, 1968), pág. 239. <<

[3] W. Heisenberg, ob. cit., págs. 178-179. <<

[4] D. T. Suzuki, *The Essence of Buddhism* (*La esencia del budismo*) (Hozokan, Kyoto, Japón, 1968), pág. 26. <<

[5] P. Kapleau, *Three Pillars of zen* (Beacon Press, Boston, 1967), pág. 135. <<

[6] W. Heisenberg, ob. cit., pág. 42. <<

[1] D. T. Suzuki, *The Essence of Buddhism* (Hozokan, Kyoto, Japón, 1968), pág, 7. <<

[2] W. Heisenberg, *Physics and Philosophy* (Allen & Unwin, Londres, 1963), pág. 145. <<

[3] Ed. P. A. Schilpp, *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (The Library of Living Philosophers, Evanston, Illinois, 1949), pág. 45. <<

[4] N. Bohr, *Atomic Physics and the Description of Nature* (Cambridge University Press, Londres, 1934), pág. 2. <<

[5] S. Aurobindo, *On Yoga II* (Aurobindo Ashram, Pondicherry, India, 1958), tomo 1, pág. 327. <<

[6] Citado en M. Capek, *The Philosophical Impact of Contemporary Physics* (D. Van Nostrand, Princeton, Nueva Jersey, 1961), pág. 7. <<

[7] *Ibíd*., pág. 36. <<

[8] M. P. Crosland, *The Science of Matter* (*La ciencia de la materia*) (History of Science Readings, Penguin Books, Harmondsworth, 1971), pág. 76. <<

[9] Citado en M. Capek, *ob. cit.*, pág. 122. <<

[10] Citado en J. Jeans, *The Growth of Physical Science* (*El crecimiento de la ciencia física*), (Cambridge University Press, Londres, 1951), pág. 237. <<

[11] *Tables of Particle Properties*, publicado por el Particle Data Group en *Physics Letters*, vol. 50B, n.º. 1, 1974. <<

[1] *Mundaka Upanishad*, 2.2.3. <<

[2] *Bhagavad Gita*, 4.42. <<

[3] *Bhagavad Gita*, 13. 12. <<

[4] *Maitri Upanishad*, 6.17. <<

[5] *Brihad-aranyaka Upanishad*, 1.4.6. <<

[6] *Chandogya Upanishad*, 6.9.4. <<

[7] *Bhagavad Gita*, 8.3. <<

[8] *Ibíd*., 3.27-28. <<

[9] *Brihadaranyaka Upanishad*, 4.3.21 <<

[1] *Dhammapada*, 113. <<

[2] *Digha Nikaya*, II,154. <<

[3] D. T. Suzuki, *On Indian Mahayana Buddhism*, Edward Conze (Harper & Row, Nueva York, 1968), pág. 122. <<

[4] D. T. Suzuki, *The Essence of Buddhism* (Hozokan, Kyoto, Japón, 1968), pág. 54. <<

[1] *Chuang Tzu*, trad. James Legge, adaptado por Clae Wahham (Ace Books, Nueva York, 1971), cap. 13. <<

[2] J. Needham, *Science and Civilisation in China* (Cambridge University Press, Londres, 1956), vol. H, pág. 35. <<

[3] Fung Yu-Lan, *A Short History of Chinese Pilosophy* (Macmillan, Nueva York, 1958), pág. 14. <<

[4] *Chuang Tzu, ob. cit.*, cap. 22. <<

[5] Citado en J. Needham, *ob. cit.*, vol. 11, pág. 51. <<

[6] Lao Tzu, *Tao Te Ching*, trad. Ch'u Ta-Kao (Allen & Unwin, Londres, 1970), caps. 40 y 25. <<

[7] *Ibíd.*, cap. 29. <<

[8] Wang Ch’ung, A. D. 80, citado en J. Needham, ob. cit., vol. IV, pág. 6. <<

[9] R. Wilhelm, *The I Ching or Book of Changes* (Routledge & Kegan Paul, Londres, 1968), pág. 297. <<

[10] *Kuei Ku Tzu*, s. IV a. de C., citado en J. Needham, ob. cit., vol. IV, pág. 6. <<

[11] *Chuang Tzu, ob. cit.*, cap. 22. **<<**

[12] R. WilheIm, *ob. cit.*, pág. XLVII. <<

[13] *Ibíd.*, pág. 321. <<

[14] *Ibíd*., pág. 348. <<

[1] Chuang Tzu, trad. James legge, adaptado por Clae Waltham (Ace Books, Nueva York, 1971), cap. 22. **<<**

[2] *Ibíd*., cap. 24. <<

[3] *Ibíd*., cap. 2. <<

[4] *Ibíd*., cap. 13. <<

[5] *Bhagavad Gita*, 2.45. <<

[6] Citado en Fung Yu-Lan, *A Short History of Chinese Philosophy* (Macmillan, Nueva York, 1958), pág. 112. <<

[7] Lao Tzu, *Tao Te Ching*, trad. Ch’u Ta-Kao (Allen & Unwin, Londres, 1970), cap. 36. <<

[8] *Ibíd*., cap. 22. <<

[9] *Chuang Tzu, ob. cit.*, cap. 17. <<

[10] En G. S. Kirk, *Heraclitus* - *The Cosmic Fragments*, pág. 307. <<

[11] *Ibíd.*, págs. 105 y 184. <<

[12] *Ibíd*., pág. 149. <<

[13] Lao Tzu, *ob. cit.*, cap. 2. <<

[14] J. Needham, *Science and Civilisation in China* (Cambridge University Press, Londres, 1956), vol. 11, pág. 88. <<

[15] *Ibíd.*, págs. 68-69. <<

[16] Lao Tzu, *ob. cit.*, cap. 48. <<

[17] Lao Tzu, *ob. cit.*, caps. 1 y 2. <<

[18] *Chuang Tzu, ob. cit.*, cap. 16. <<

[1] *Chuang Zu*, trad. James Legge, cap. 22. <<

[2] A. W. Watts, *The Way of zen*, pág. 87. <<

[3] P. Reps, *Zen Flesh, Zen Bones* (Anchor Books, Nueva York), pág. 96. <<

[4] Citado por D. T. Suzuki en *Zen and Japanese Culture* (Bollingen Series, Nueva York, 1959), pág. 16. <<

[5] P. Kapleau, *Three Pillars of zen*, pág. 49. <<

[6] *Zenrin Kushu*, en A. W. Watts, ob. cit., pág. 134. <<

[1] Ashvaghosha, *The Awakening of Faith*, pág. 55. <<

[2] *Ibíd*., pág. 93. <<

[3] H. P. Stapp, «S-matrix Interpretation of Quantum Theory», *Physical Review*, vol. D3 (15 de marzo de 1971), págs. 1303-1320. <<

[4] *Ibíd*., pág. 1303. <<

[5] N. Bohr, *Atomic Physics and the Description of Nature* (Cambridge University Press, Londres, 1934), pág. 57. <<

[6] D. Bohrn y B. Hiley, «On the Intuitive Understanding of Nonlocality as Implied by Quantum Theory», *Foundations of Physics*, vol. 5 (1975). **<<**

[7] S. Aurobindo, *The Synthesis of Yoga*, pág. 993. <<

[8] Nagarjuna, citado en *The Central Philosophy of Buddhism*, pág. 138. <<

[9] H. P. Stapp, *ob. cit.*, pág. 1310. <<

[10] W. Heisenberg, *Physics and Philosophy*, pág. 96. <<

[11] *Mundaka Upanishad*, 2.2.5. <<

[12] W. Heisenberg, *ob. cit.*, pág. 75. <<

[13] *Ibíd*., pág. 57. <<

[14] A. Wheeler y J. Mehra, *The Physicist’s Conception of Natur*, (D. Reidel, Dordrecht, Holanda, 1973), pág. 244. <<

[15] *Brihadarayaka Upanishad*, 4.5.15. <<

[16] *Chuang Tzu*, cap. 6. <<

[17] Lama Anagarika Govinda, *Foundations of Tibetan Mysticism*, pág. 93. <<

[1] Lao Tzu, *Tao Te Ching*, cap. 1. **<<**

[2] D. T. Suzuki, *The Essence of Buddhism*, pág. 18. <<

[3] Citado por A. Watts en *The Way of Zen*, pág. 117. <<

[4] R. Wilhelm, *The I Ching or Book of Changes* (Routledge & Kegan Paul, Londres, 1968), pág. 297. <<

[5] Lama Anagarika Govinda, *Foundations of Tibetan Mysticism*, pág. 136. <<

[6] V. F. Weisskopf, *Physics in the Twentieh Century* - *Selected Essays*, pág. 30. <<

[7] J. R. Oppenheimer, *Science and the Common Understanding*, págs. 42-43. <<

[8] *Isa Upanishad*, 5. <<

[9] Ashvaghosha, *The Awakening of Faith*, pág. 59. <<

[10] Lama Anagarika Govinda, «Logic and Symbol in the Multidimensional Conception of the Universe», *The Middle Way*, vol. 36 (febrero de 1962), pág. 52. <<

[1] P. A. Schilpp, *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, pág. 250. <<

[2] Madhyan Karika Vrtti, citado por T. R. V., *Murti en The Central Philosophy of Buddhism*, pág. 198. <<

[3] J. Needham, *Science and Civilisation in China*, pág. 458. <<

[4] Ashvaghosha, *The Awakening of Faith*, pág. 107. <<

[5] M. Sachs, «Space-Time and Elementary Interactions in Relativity», *Physics Today*, vol. 22 (febrero de 1969), pág. 53. **<<**

[6] A. Einstein *et al.*, *The Principle of Relativity* (Dover Publications, Nueva York, 1923), pág. 75. <<

[7] S. Aurobindo, *The Synthesis of Yoga* (Aurobindo Ashram, Pondicherry, India, 1957), pág. 993. <<

[8] D. T. Suzuki, *Mahayana Buddhism* (Allen & Unwin, Londres, 1959), pág. 33. <<

[9] *Chuang Tzu*, trad. James Legge, adaptado por Clae Waltham (Ace Books, Nueva York, 1971), cap. 2. <<

[10] Citado por A. Watts en *The Way of Zen*, pág. 201. <<

[11] D. T. Suzuki, *On Indian Mahayana Buddhism*, págs. 148-149. <<

[12] P. A. Schilpp, *ob. cit.*, pág. 114. <<

[13] Lama Anagarika Govinda, *Foundations of Tibetan Mysticism*, pág. 116. <<

[14] Dogen Zenji, *Shobogenzo*, en la obra de J. Kennett, *Selling Water by the River* (Vintage Books, Nueva York, 1972), pág. 140. <<

[15] *Govinda, ob. cit*., pág. 270. <<

[16] S. Vivekananda, *Jnana Yoga* (Advaita Ashram, Calcuta, India, 1972), pág. 109. <<

[1] D. T. Suzuki, *The Essence of Buddhism* (Hozokan, Kyoto, Japón, 1968), pág. 53. <<

[2] Carlos Castaneda, *A Separate Reality* (Bodley Head, Londres, 1971), pág. 8. <<

[3] S. Radhakrishnan, *Indian Philosophy*. <<

[4] *Brihadaranyaka*, 2.3.3. <<

[5] *Bhagavad Gita*, 8.3. <<

[6] *Ibíd*., 3.24. <<

[7] S. Radhakrishnan, *ob. cit.*, pág. 367. <<

[8] Ts’ai-ken t’an, citado por T. Leggett en *First Zen Reader* (C. E. Tuttle, Rutland, Vermont, 1972), pág. 229. <<

[9] A. C. B. Lovell, *The individual and the Universe* (Oxford University Press, Londres, 1958), pág. 93. <<

[10] *Bhagavad Gita*, 9.7-10. <<

[11] *Digha Nikaya*, II, 198. <<

[12] D. T. Suzuki, *ob. cit*., pág. 55. <<

[13] J. Needham, *Science and Civilisation in China*, vol. 11, pág. 478. <<

[1] F. Hoyle, *Frontiers of Astronomy* (Heinemann, Londres, 1970), pág. 304. <<

[2] Citado por M. Capek en *The Philosophical Impact of Contemporary Physics*, pág. 319. <<

[3] *Chandogya Upanishad*, 4.10.4. <<

[4] *Kuan-Tzu*, XIII, 36. Amplísima obra socio-filosófica que refleja varias escuelas, tradicionalmente atribuida al célebre estadista Kuan Chung del siglo VII a. de C., pero es más probable que fuera compuesta o recopilada aproximadamente hacia el siglo III a. de C. <<

[5] *Chandogya Upanishad* 3.14.1. <<

[6] H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, pág. 171. <<

[7] *A Short History of Chinese Philosophy*, pág. 279. <<

[8] *Ibíd*., pág. 280. <<

[9] W. Thirring, *Urbausteine der Materie*, pág. 160. <<

[10] J. Needham, *Science and Civilisation in China*, vol. IV, pág. 8-9. <<

[11] Lama Anagarika Govinda, *Foundations of Tibetan Mysticism*, pág. 223. <<

[12] *Prajna-aparamika-hridaya Sutra* (M. Muller), vol. XLIX. <<

[13] Citado por J. Needham, *ob. cit*., vol. 11, pág. 62. <<

[14] Comentario del Hexagrama Yü, R. Wilhelm, *The I Ching of Book of Changes*, pág. 68. <<

[15] W. Thirring, *ob. cit.*, pág. 159. <<

[16] Citado por J. Needham, *ob. cit.*, vol. IV, pág. 33. <<

[1] K. W. Ford, *The World of Elementary Particles*, pág. 209. <<

[2] A. David-Neel, *Tibetan Journey* (John Lane, The Bodley Head, Londres, 1936), págs. 186-187. <<

[3] A. K. Coomaraswamy, *The Dance of Shiva* (Nooday Press, Nueva York, 1969), pág. 78. <<

[4] H. Zimmer, *Myths and Symbols in Indian Art and Civilization*, pág. 155. <<

[5] A. K. Coomaraswamy, *ob. cit.*, pág. 67. <<

[1] W. Heisenberg, *Physics and Philosophy*, pág. 96. <<

[2] G. F. Chew, *Impasse for the Elementary Particle Concept*, pág. 99. <<

[3] Ashvaghosha, *The Awakening of Faith*, págs. 79 y 86. <<

[4] *Lankavatara Sutra*, D. T. Suzuki, pág. 242. <<

[5] S. Radhakrishnan, Indian Philosophy (Allen & Unwin, Londres, 1951), pág. 369. <<

[6] R. Wilhelm, *The I Ching or Book of Changes* (Routledge & Kegan Paul, Londres, 1968), pág. 315. <<

[7] H. Wilhelm, *Change* (Harper Torchbooks, Nueva York, 1964), pág. 19. <<

[8] H. Wilhelm, *ob. cit.*, pág. 348. <<

[9] *Ibíd*., pág. 352. <<

[10] R. Wilhelm, *ob. cit.*, pág. 1. <<

[1] G. F. Chew, «Bootstrap: A Scientific Idea?», *Science*, vol. 161, 23-5-68. <<

[2] Citado por J. Needham en *Science and Civilisation in China*, vol. 11, pág. 538. <<

[3] G. F. Chew, *ob. cit.*, págs. 762-763. <<

[4] Lao Tzu, *Tao Te Ching*, cap. 25. <<

[5] J. Needham, *ob. cit.*, vol. 11, pág. 582. <<

[6] *Ibíd.*, pág. 484. <<

[7] *Ibíd.*, págs. 558 y 567. <<

[8] Citado por J. Needham, *ob. cit.*, vol. 11, pág. 566. <<

[9] Ashvaghosha, *The Awakening of Faith*, pág. 56. <<

[10] P. Reps, *Zen Flesh, Zen Bones* (Anchor Books, Nueva York), pág. 104. <<

[11] *Ibíd.*, pág. 119. <<

[12] Ashvaghosha, *ob. cit.*, pág. 104. <<

[13] S. Aurobindo, *The Synthesis of Yoga* (Aurobindo Ashram, Pondicherry India, 1957), pág. 989. <<

[14] D. T. Suzuki, *On Indian Mahayana Buddhism*, pág. 150. <<

[15] *Ibíd.*, págs. 183-184. <<

[16] G. F. Chew, *Hadron Bootstrap, ob. cit*., pág. 27. <<

[17] G. F. Chew, M. Gell-Mann y A. H. Rosenfeld, «Strongly Interacting Particles», *Scientific American*, vol. 210 (febrero de 1964), pág. 93. <<

[18] C. Eliot, *Japanese Buddhism* (Routledge & Kegan Paul, Londres, 1959), págs. 109-110. <<

[19] D. T. Suzuki, *ob. cit.*, pág. 148. <<

[20] D. T. Suzuki, *The Essence of Buddhism* (Hozokan, Kyoto, Japón, 1968), pág. 52. <<

[21] P. P. Wienner, *Lebnitz-Selections* (Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1951), pág. 547. <<

[22] J. Needham, *ob. cit.*, vol. 11, págs. 496 y siguientes. <<

[23] P. P. Wienner, *ob. cit.*, pág. 533. <<

[24] *Ibíd.*, pág. 161. <<

[25] G. F. Chew, *ob. cit.*, pág. 763. <<

[26] E. P. Wigner, *Symmetries and Reflections-Scientific* (M. I. T. Press, Cambridge, Mass., 1970), pág. 172. <<

[27] G. F. Chew, *ob. cit.*, pág. 765. <<

[28] Lao Tzu, *Tao Te Ching*, pág. 81. <<

[1] Lama Anagarika Govinda, *Foundations of Tibetan Mysticism* (Rider, Londres, 1973), pág. 225. <<

[1] Ver P. A. Schilpp, *Albert Einstein*. <<

[2] Ver D. Bohrn, *Quantum Theory* (Prentice-Hall, Nueva York, 1951), pág. 614. <<

[3] Ver H. P. Stapp, *ob. cit*. <<

[4] Ver, por ejemplo, B. d'Espagnat, «The Quantum Theory and Reality», *Scientific American*, noviembre de 1979. <<

[5] D. Bohrn, *Quantum Theory*, pág. 614. <<

[6] Ver D. Z. Freedman y P. van Nieuwenhuizen, «Supergravity and the Unification of the laws of Physics», *Scientific American* (abril de 1981). <<

[7] Ver G. Hooft, «Gauge Theories of the Forcesbetween Elementary Particles», *Scientific American* (junio de 1980). **<<**

[8] Ver H. Georgi, *A united Theory of Elementary Particles and Forces. S. A.*, (abril de 1981). <<

[9] Ver *Charm and Beyond Anual Review of Nuclear and Particle Science,* 1978. <<

[10] H. Georgi, *ob. cit*. <<

[11] Capra, «Quark Physics Without Quarks», *American Journal of Physics* (enero de 1979). <<

[12] D. Bohrn, *Wholeness and the implicate Order*, Routledge & Kegal Paul, Londres, 1980. <<

[*] El lector que encuentre esta presentación de la física moderna demasiado comprimida y difícil de entender no debe preocuparse. Todos los conceptos mencionados en este capítulo serán tratados con mayor detalle más adelante. <<

[**] El átomo de hidrógeno está compuesto tan solo por un protón y un electrón. <<

[***] La rotación de un electrón en su órbita no debe entenderse en el sentido clásico. Está determinada por la forma de la onda del electrón en términos de probabilidades de existencia de la partícula en ciertas partes de la órbita. <<

[*1] Pese a que he suprimido toda matemática y he simplificado considerablemente el análisis, esta exposición puede parecer todavía muy árida y técnica. Quizá debería entenderse como un ejercicio de «yoga» que —como muchos de los ejercicios espirituales de las tradiciones orientales— podrá no ser demasiado divertido, pero sí conducir a una profunda y hermosa percepción de la naturaleza esencial de las cosas. <<

[*2] En los siguientes capítulos trataremos de otros aspectos de la teoría cuántica. <<

[*3] En el apéndice se trata esta interconexión con mayor amplitud. <<

[*4] Este punto se tratará más adelante, en el capítulo 18. <<

[*1] No debe pensarse que es más probable hallar la partícula en las crestas que en los senos de la onda. Esta figura es simplemente una «instantánea», un modelo estático de una vibración continua, durante la cual todos los puntos existentes a lo largo de la onda alcanzan la parte superior de la cresta a intervalos periódicos. <<

[*2] Para mayor sencillez, aquí tratamos solo con una dimensión espacial, es decir, con la posición de la partícula en algún lugar de la línea. Los modelos o patrones de probabilidad mostrados en el capítulo anterior son ejemplos bidimensionales que corresponden a ondas más complicadas. <<

[*1] Debemos tener en cuenta el hecho esencial de que la velocidad de la luz es la misma para todos los observadores. <<

[*2] En este caso hay que tener en cuenta que el observador está en reposo en su laboratorio, mientras que los sucesos que observa son producidos por partículas que se mueven a diferentes velocidades. El efecto es el mismo. Lo que cuenta es el movimiento relativo entre el observador y los sucesos observados. Cuál de los dos se mueva con relación al laboratorio carece de importancia. <<

[*3] Tal vez debería mencionar un pequeño punto técnico. Cuando hablamos del tiempo de vida de un determinado tipo de partícula, siempre nos referimos al tiempo medio de vida. Debido al carácter estadístico de la física subatómica, no es posible hacer ninguna afirmación sobre partículas individuales. <<

[*4] Los siguientes ejemplos están extraídos de The Feynman Lectures on Physics, de R. P. Feynman, R. B. Leighton y M. Sands (Addison-Wesley, Reading, Mass. 1966), vol. II, cap. 42. <<

[*5] El espacio, en estos diagramas, tiene solo una dimensión; sus otras dos dimensiones han de suprimirse forzosamente para hacer posible un diagrama plano. <<

[*6] Las líneas de puntos también se interpretan como fotones, tanto si se mueven hacia delante como hacia atrás en el tiempo, porque la antipartícula de un fotón es también un fotón. <<

[*7] Recientes evidencias experimentales sugieren que esto podría no ser cierto para un proceso en el que tuviera lugar una «interacción superdébil». Aparte de estos procesos, en los cuales el papel de la simetría de inversión de tiempo todavía no se ha aclarado, todas las interacciones de partículas parecen mostrar una simetría básica con relación a la dirección del tiempo. <<

[*1] Los físicos escriben esta unidad de tiempo como 10-23 segundos, anotación breve de un número decimal con 23 ceros a la izquierda de la cifra —1: 0,000000000000000000000001. <<

[*2] Un cuarto leptón, representado por la letra griega t (tau) ha sido descubierto. Como el electrón y el muón, aparece en dos estados de carga, t- y t+, y dado que su masa es unas tres mil quinientas veces la del electrón, se le considera un «leptón pesado». Se ha postulado su correspondiente neutrino, que interactuaría solo con este cuarto leptón, pero hasta la fecha no se ha descubierto. <<

[*3] Solo las partículas cargadas eléctricamente producen estelas en la cámara de burbujas. Están unidas por campos magnéticos en el sentido de las agujas del reloj en el caso de las partículas cargadas positivamente y al contrario en las negativas. <<

[*4] Los siguientes diagramas son esquemáticos y no muestran los ángulos correctos de las líneas de las partículas. Nota también que el protón inicial que espera en la cámara de burbujas no aparece en la fotografía; sin embargo, tiene una línea del mundo en el diagrama, pues se está moviendo en el tiempo. <<

[*5] Estas posibilidades no son arbitrarias sino que están restringidas por varias leyes generales que veremos en el siguiente capítulo. <<

[*1] De hecho, este diagrama podría girarse mucho más, «cruzándose» sus líneas individuales a fin de obtener procesos diferentes también descritos por el mismo elemento de la matriz-S. Cada elemento representa un conjunto de seis procesos distintos, pero solo los dos mencionados resultan relevantes para el tema de las fuerzas de interacción que aquí tratamos. <<

[*2] De cualquier modo, debemos recordar que los diagramas de la matriz-S no son diagramas espaciotemporales, sino representaciones simbólicas de reacciones entre partículas. El cambio de un canal a otro tiene lugar en un espacio matemático y abstracto. <<

[*3] Esta conjetura, conocida como la hipótesis de la «tira de bota», se tratará con más detalle en el capítulo siguiente. <<

[*] Los paralelismos existentes entre el punto de vista de Leibniz sobre la materia y la teoría de la «tira de bota» de los hadrones ha sido muy discutido. Ver el artículo de G. Gale, «Monadología de Chew», Journal of History of Ideas, vol. 35 (abril-junio de 1974), págs. 339-348. <<

[*] La holografía es una técnica de fotografía sin lentes basada en la interferencia de las ondas luminosas. La fotografía resultante se llama «holograma». <<

[*] Palabra alemana que significa un conjunto mayor y diferente a la suma de las partes que lo componen. Por ejemplo, una melodía se oye diferente que si oímos cada una de las notas que la componen por separado. <<